

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra pedologie a ochrany půd

**Sezónní variabilita stability půdní struktury a
hydraulických vlastností půdy**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Marcela Rohošková, Ph.D.

Autor práce: Bc. Veronika Jirků

2009

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Sezónní variabilita stability půdní struktury a hydraulických vlastností půdy* vypracovala samostatně a použila pouze prameny, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

V Praze, dne 6. dubna 2009

.....
podpis

Poděkování:

Ráda bych poděkovala vedoucí diplomové práce Ing. Marcele Rohoškové, Ph.D. a konzultantce Doc. Ing. Radce Kodešové, CSc., za jejich všestrannou pomoc, připomínky a rady, které mi poskytly při zpracování této práce.

ABSTRAKT

Půdní struktura je důležitou vlastností, která ovlivňuje mnoho procesů probíhajících v půdě. Půdní strukturou rozumíme prostorové uspořádání půdních částic a agregátů. Struktura půdy je ovlivněna základními vlastnostmi půdy, klimatickými faktory (ovlhčování a vysoušení, tání a mrznutí) a lidskou a biologickou aktivitou (obdělávání půdy, růst kořenů, flora a fauna). Agregáty vznikají buď agregací, nebo desagregací.

Rozhodující pro stabilitu agregátů je jejich odolnost vůči destrukčním silám, působícím v daném prostředí. Stabilita je nejvíce závislá na textuře, na obsahu půdní organické hmoty, na vegetaci a na půdních organismech. Při tvorbě stabilních agregátů je třeba podporovat vznik pevných vazeb mezi půdními částicemi.

Schopnost půdy infiltrovat srážky je podmíněna mnoha vlivy jako např. polohou pozemku, sklonem povrchu terénu a především je ovlivněna půdními vlastnostmi – pórovitostí a momentální vlhkostí.

Tato práce se zabývá sezónní variabilitou stability půdní struktury a hydraulických vlastností půdy na lokalitách Humpolec, Čáslav a Hněvčeves. Bylo zde provedeno celkem dvanáct odběrů během dvou let (roky 2007, 2008). Byly odebrány neporušené půdní vzorky ke stanovení vlhkostních charakteristik. A dále bylo odebráno dvanáct porušených půdních vzorků ke stanovení stability půdních agregátů, pH, obsahu a kvality humusu. Měřena byla i infiltrační schopnost půdy malými diskovými infiltrometry.

Z výsledků bylo zjištěno, že časová variabilita prokazatelně existuje. Stabilita agregátů a hodnoty půdních vlastností se měnily v čase vlivem klimatických podmínek, biologické aktivity, vegetace a hospodařením na půdě.

Hodnoty pH se během dvou let změnily minimálně na všech lokalitách. Obsah humusu, kvalita humusu a stabilita agregátů se měnila výrazně v prvním roce, ve druhém roce byla variabilita menší na všech lokalitách. Pokud jde o vlhkostní charakteristiky, charakteristiky pórovitosti a vzdušné charakteristiky tak opět jejich hodnoty byly v prvním roce více variabilní než ve druhém.

Statisticky průkazné rozdíly mezi roky odběru byly zjištěny u momentální vlhkosti a nekapilárních pórů na lokalitě Humpolec. Na lokalitě Čáslav byly zjištěny průkazné rozdíly mezi roky odběru u obsahu humusu, stability agregátů a momentální vlhkosti. A na lokalitě Hněvčeves byly zjištěny průkazné rozdíly mezi roky odběru u aktivní půdní reakce, objemové hmotnosti a pórovitosti.

Koeficienty korelace dokazují, že rychlost infiltrace ve všech lokalitách je nejvíce ovlivněna momentální vlhkostí. Také dobrá stabilita půdy měla příznivý vliv na rychlost infiltrace.

ABSTRACT

Soil structure is a very important soil property, which has influence on many processes in the soil. Soil structure is a spatial distribution of soil particles and aggregates. Structural form is influenced mainly by the soil properties, by the climatic factors (wetting and drying, freezing and thawing), and by human and biological activity (tillage, growth of roots, microflora and fauna activity). Aggregates develop either by the aggregation or by the disaggregation processes.

Crucial for aggregate stability is its resistance to breakdown by different mechanisms acting in given conditions. The structure stability is dependent mainly on soil texture, soil organic matter content, vegetation, and soil microorganisms. For forming stable aggregates, development of strong bonds between soil particles should be supported.

An ability of soil to infiltrate precipitation is affected by many influences such as area location, terrain and also is influenced by soil properties – soil porosity and actual soil-water content.

This work is concerned with seasonal variability of soil structure stability and soil hydraulic properties at localities Humpolec, Čáslav and Hněvčeves. There were made twelve sampling in total during two years (2007, 2008). The undisturbed samples for water characteristics assessment and disturbed samples for soil properties (aggregate stability, pH, organic matter content and quality) were taken. Infiltration was measured with Mini disk infiltrometers.

Results show that the soil properties varied within the time. Aggregate stability and values of the soil properties were influenced by the climatic factors, biology activity, growth of plant's roots and soil management.

Values of pH slightly varied within both years at all localities. Organic matter content, organic matter quality and aggregate stability varied significantly during the first year. However, variability of those properties was considerably lower during the second year at all localities. Values of the soil-water content characteristics, porosity characteristics and air characteristics were also more variable during the first year than during the second year.

Statistically significant differences were found between values of the actual soil-water contents and gravitational pores measured during different years at the locality Humpolec. In case of the locality Čáslav, statistically significant differences were found between values of the organic matter content, aggregate stability and actual soil water contents measured during different years. Finally, statistically significant differences were found between values of the pH, bulk density and soil porosity measured during different years at the locality Hněvčeves.

Correlation coefficient proved that infiltration rate was mostly impacted by actual soil-water content. High aggregate stability had positive influence on infiltration rate.

OBSAH:

1. ÚVOD	1
2. CÍL PRÁCE	2
3. LITERÁRNÍ REŠERŠE	2
<u>3.1 Struktura půdy</u>	2
3.1.1 Tvorba půdní struktury	4
3.1.2 Stabilita půdní struktury	5
3.1.3 Metody stanovení stability půdní struktury	6
3.1.4 Význam půdní struktury	7
<u>3.2 Hydrofyzikální vlastnosti půdy</u>	9
3.2.1 Vlastnosti půdní vody	9
3.2.2 Půdní vlhkost	10
3.2.2.1 Vlhkostní charakteristiky	11
3.2.2.2 Vzdušné charakteristiky	11
3.2.2.3 Doplnkové charakteristiky	12
3.2.2.4 Charakteristiky pórovitosti	12
3.2.3 Hydraulická vodivost	14
3.2.4 Infiltrace	14
<u>3.3 Sezónní variabilita půdních vlastností</u>	15
4. METODIKA	16
<u>4.1 Charakteristika území</u>	16
4.1.1 Lokalita Humpolec	16
4.1.2 Lokalita Čáslav	18
4.1.3 Lokalita Hněvčoves	19
<u>4.2 Odběr půdních vzorků</u>	21
4.2.1 Odběr neporušeného půdního vzorku do Kopeckého válečku	22
4.2.2 Odběr porušeného půdního vzorku	23
<u>4.3 Zpracování půdních vzorků</u>	23
4.3.1 Laboratorní zpracování neporušeného půdního vzorku	24
<u>4.4 Analýza vzorků</u>	25
4.4.1 Stanovení ve vodě stabilních agregátů	25

4.4.2 Stanovení aktivní půdní reakce potenciometricky	26
4.4.3 Stanovení výměnné půdní reakce potenciometricky	27
4.4.4 Stanovení obsahu humusu modifikovanou Tjurinovou metodou	27
4.4.5 Stanovení kvality humusu spektrofotometricky	28
<u>4.5 Měření infiltrace</u>	28
<u>4.6 Vyhodnocení výsledků</u>	30
5. VÝSLEDKY A DISKUZE	30
<u>5.1 Základní statistika</u>	30
<u>5.2 Výsledná sezónní variabilita vybraných půdních vlastností, stability agregátů a hydrofyzikálních vlastností</u>	33
<u>5.3 Výsledky měření infiltrace</u>	44
<u>5.4 Výsledky statistické analýzy</u>	52
5.4.1 Porovnání půdních vlastností v roce 2007 a 2008	52
5.4.2 Vzájemné vztahy mezi stabilitou agregátů, vybranými půdními vlastnostmi a hydrofyzikálními vlastnostmi	54
6. ZÁVĚR	58
7. POUŽITÁ LITERATURA.....	59
8. PŘÍLOHY	
<u>Příloha 1 – tabulky</u>	
<u>Příloha 2 – fotodokumentace</u>	

1. ÚVOD

Půdní prostředí je velice heterogenní a půdní vlastnosti se mění jak v prostoru, tak v čase. Vlastnosti půdy se mění vlivem klimatu a biologické aktivity. Dále jsou vlastnosti půdy ovlivněny hospodařením na půdě. Toto se odráží v mnoha půdních vlastnostech, včetně stability půdní struktury, uspořádání porézního systému a půdních hydraulických vlastností.

Uspořádání půdních částic do agregátů má významný dopad na půdní porézní systém a následkem toho i na hydraulické vlastnosti půdy. Jakmile dojde k narušení agregátové stability, tak následkem toho se změní i porézní systém. Stupeň agregace má vliv i na proudění vody v půdě (Kodešová et al., 2009a). Největší význam pro tvorbu a stabilitu agregátů se připisuje půdní organické hmotě a to jak jejímu celkovému obsahu, tak její kvalitě. Na tvorbě agregátů se podílejí různé složky organické hmoty. Mikroagregáty jsou především tvořeny stabilním humusovým materiálem, kdežto makroagregáty jsou tvořeny organickým materiálem převážně mikrobiálního původu (slizy, zbytky).

Časová variabilita půdních vlastností je v současné době méně hodnocena než prostorová. Jedním z důvodů je nepochybně delší doba trvání pokusů než u prostorových výzkumů a to, že je nutno zohlednit i mnoho dalších vlivů (např. klimatické podmínky a jejich změnu během času, vliv fyziologie rostlin, apod.). Tyto veličiny se pak nedají brát jako stálé, jak je tomu při prostorovém hodnocení.

Sezónní variabilita půdních vlastností a stability struktury závisí na minerálním hnojení a na způsobu obdělávání. Při obdělávání půdy dochází ke snižování obsahu humusu. Svou úlohu má i vegetace. Doporučují se osevnické postupy, v nichž se střídají jednoleté plodiny a po určitém cyklu jsou pěstovány víceleté plodiny, jako jetel, vojtěška (Kutílek, 1978). Tyto plodiny umožňují delší zastínění povrchu půdy a tím jsou agregáty mechanicky méně rozrušovány. Rozmnožením kořenové hmoty napomáhají rostliny k obohacení půdy humusem.

Strudley et al. (2008) zdůrazňuje důležitost vzájemného ovlivňování mezi hospodařením na půdě, biologickou aktivitou a půdními hydraulickými vlastnostmi. Sezónní variabilita má přímé účinky na rychlost infiltrace a s tím související odtok, erozi a chemický transport.

Tato práce se zabývá sledováním sezónní variability vlhkostních charakteristik (θ_{mom} , θ_{ns} , θ_{30} , θ_{MKK} , θ_{RVK}), sezónní variability stability půdní struktury a pórovitosti (P , P_n , P_k) s doplňujícími vzdušnými charakteristikami (V_z , K_{MKKV_z} , K_{RVKV_z}). Časová variabilita je hodnocena v období dvou let od 29.3.2007 do 11.11.2008. V každém roce bylo uděláno 6 odběrů.

2. CÍLE PRÁCE

Cílem práce je zhodnotit variabilitu stability půdní struktury a hydrofyzikálních vlastností vybraných půdních typů v závislosti na období odběru a měnících se půdních vlastnostech.

3. LITERÁRNÍ REŠERŠE

3.1 Struktura půdy

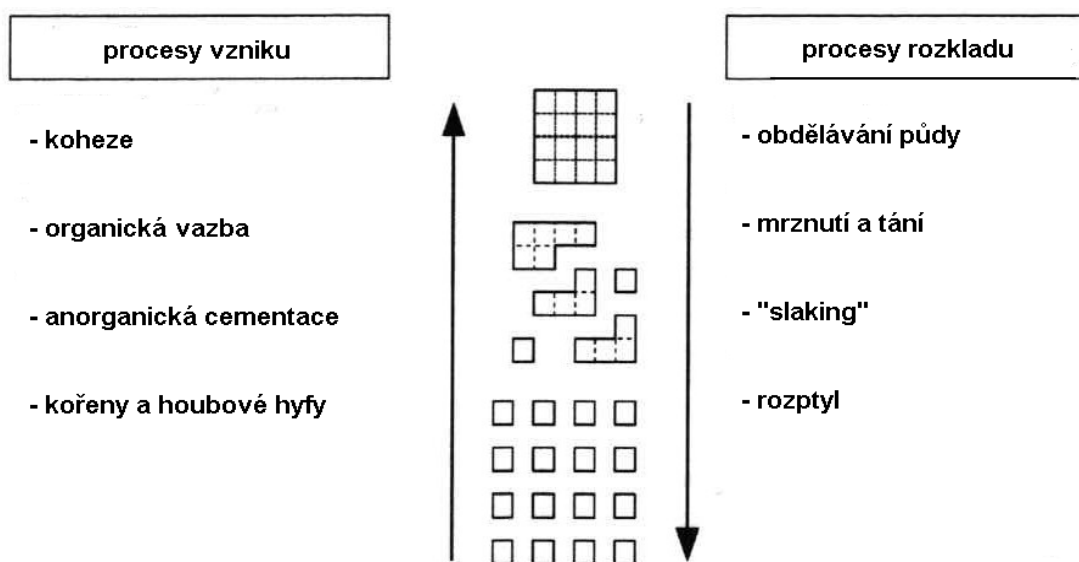
Struktura půdy je charakterizována prostorovým uspořádáním elementárních půdních částic. Půdní částice se vyskytují jak samostatně, tak vytváří shluky, které se nazývají agregáty. Struktura půdy je důležitou půdní vlastností, která ovlivňuje mnoho procesů probíhajících v půdě. Půdní agregáty jsou pórovité bloky různých tvarů a velikostí (Gerke et al., 2002). Agregáty ovlivňují velikost pórů, transport vody a kontakt mezi nimi (Lipiec et al., 2009). Působí příznivě na činnost mikroorganismů a na zásobování kořenů rostlin živinami. Struktura půdy je v neustálém vývoji a dochází ke stálé tvorbě a rozrušování půdních agregátů.

Existují tři stavy půdní hmoty, a to: elementární stav půdní hmoty, kdy jednotlivé půdní částice nejsou spojeny v agregáty (písčité půdy), slitý stav půdní hmoty, kdy jednotlivé částice jsou stmeleny v souvislou masu (půdy s vysokým obsahem jílnatých částí) a agregátový stav půdní hmoty, kdy alespoň část půdní hmoty je agregována, vykazuje systém odlučných ploch a rozpadá se na strukturální elementy (Valla et al., 2006). Základní rozdělení agregátů je na mikroagregáty (< 250 μm) a na makroagregáty (> 250 μm) (De Gryze, 2004).

Agregace bývá několikastupňová. Nejprve elementární půdní částice (písek, jíl, prach) vytvoří vzájemnými vazbami mikroagregáty a ty jsou dále spojovány kořeny rostlin a hyfami hub v makroagregáty (obrázek 1). Strukturální agregáty nejsou kompaktní celky. Jsou prostoupeny póry kapilárními i nekapilárními. Na poměrech pórů závisí např. retenční schopnost půdy pro vodu, infiltrace vody do půdy, prostupnost půdy pro vodu aj. (Drbal, 1986).

V půdě současně s procesy agregace, působí destrukční mechanismy, které způsobují rozpad půdních agregátů. To má za následek narušení stability půdní struktury. Pokud je narušena stabilita půdní struktury, tak to ovlivní infiltraci, náchylnost půdy k erozi a tvorbě půdního škraloupu, dále rychlost mineralizace organické hmoty a další procesy.

Struktura půdy má značný vliv na růst rostlin, biologické procesy v půdě, koloběhy prvků, vodní poměry atd. (tabulka 1). Struktura je ovlivňována texturou, organickou hmotou, sesquioxidy, půdním roztokem, mikroorganismy, rostlinami, faunou a také způsobem obhospodařování (Šarapatka et al., 2002).



Obrázek 1: Procesy vzniku a rozkladu půdní struktury (Díaz-Zorita et al., 2002)

Tabulka 1: Biologické, chemické a fyzikální procesy, na které má vliv půdní struktura (Díaz-Zorita et al., 2002)

Procesy	
Biologické	ochrana mikroorganismů a mezofauny růst kořenů a rostlin inhibice vody semeny a vzházení rostlin zásoba a koloběh živin
Chemické	sorpce-desorpce anorganických a organických sloučenin transport roztoku
Fyzikální	větrná a vodní eroze půdní škraloup infiltrace a pohyb vody v půdě, provzdušnění retence půdní vody a evaporace

3.1.1 Tvorba půdní struktury

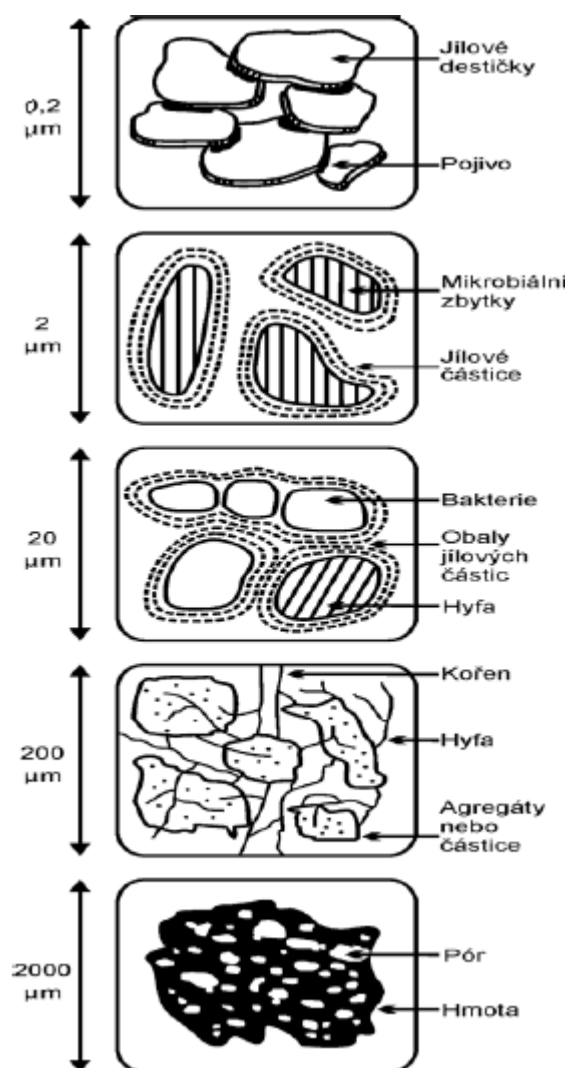
Struktura se může vytvářet dvojným způsobem. Rozpadem větších celků půdní hmoty, tzv. desagrací, při které se uplatňují hlavně objemové změny vyvolávané zvlhčováním a vysycháním půdy, mrznutím vody v pórech, činností žížal, rozrůstáním kořenů a mechanickým zpracováním půdy. Doba a odolnost agregátů vůči rozpadu je různá, podle způsobu jejich vzniku a soudržnosti sil. Rozpad agregátů může být částečný na mikroagregáty nebo úplný až na půdní částice (Klimo, 1990). Rozpad půdní struktury na písčité, prachovité a jílovité částice zmenšuje v půdě pórovitost. Průměrná optimální hodnota pórovitosti je 40 – 50 %. To znamená, že v půdě je polovina pevné hmoty a polovina volného prostoru (Šarapatka et al., 2002).

Druhý způsob spočívá v postupném spojování a stmelování půdních částic čili v agregaci a zpevňování vzniklých agregátů (tabulka 2). Elementární půdní částice jsou tmeleny v půdě částicemi jílových minerálů, koloidy železa, hliníku, solemi karbonátů a půdní organickou hmotou. Částice se spojují do agregátů, mezi kterými jsou trhliny, pukliny a póry vyplněné vzduchem nebo vodou (obrázek 2).

Při tvorbě půdních agregátů má významný vliv také půdní mikroflóra a půdní fauna. Půdní mikroflóra se podílí na tvorbě půdních agregátů především produkcí polysacharidových komponent, které se podílejí na stmelování půdních agregátů. Půdní fauna se na tvorbě půdních agregátů podílí tvorbou exkrementů (Six et al., 2004). Tvorba exkrementů přitom může vést jak k stmelování drobnějších půdních částic ve větší celky, tak i k rozmělnění již existujících větších agregátů v menší struktury (Frouz et al., 2003).

Tabulka 2: Přehled hlavních organických tmelů na stabilizaci agregátů (Cambardella, 2002)

Činitelé agregace	Proces agregace	Hlavní stupeň agregace
humusové látky	tvorba silné vazby s půdními minerálními složkami	základ tvorby mikroagregátů
polysacharidy	působí jako tmely organo-minerální spojování	stabilizace mikro- a makroagregátů
kořeny rostlin	zaplévání půdních agregátů vylučování polysacharidů	tvorba makroagregátů a krátkodobé vazby
hyfy hub	zaplévání půdních agregátů vylučování polysacharidů	tvorba makroagregátů a krátkodobé vazby
žížaly	míchání organické hmoty a jílových koloidů míchání rozkládajících se zbytků s půdou	tvorba makroagregátů



Obrázek 2: Vznik agregátů

3.1.2 Stabilita půdní struktury

Stabilita půdní struktury je schopnost vazeb půdních agregátů odolávat stresovým zátěžím způsobujícím jejich rozpad. Stabilita půdní struktury je vyjádřena stabilitou půdních agregátů (Rohošková a Valla, 2004). Hlavní příčina degradace půdní struktury se připisuje působení vlivu deště na povrch půdy. Stabilita půdní struktury znamená odolnost vůči destrukčním vlivům, jako jsou: objemové změny, kinetická energie dešťových kapek, rozplavovací účinek vody, obdělávání půdy, atd. Při tvorbě stabilních agregátů je třeba podporovat vznik pevných vazeb mezi půdními částicemi. Stabilita agregátů může sloužit jako ukazatel celkové kvality půdy.

Stabilita agregátů je nejvíce závislá na textuře, na obsahu jílu a jeho mineralogickém složení, dále na půdní organické hmotě, která funguje jako spojovací článek minerálních

částic, na vegetaci, která udržuje stabilizaci prostřednictvím hub a kořenů rostlin, na půdních mikroorganismech, které působí svými sekrety na fyzikálně chemické pochody. Z dalších vlivů je třeba zmínit vliv kationtů a půdních seskvioxidů ovlivňujících stav koloidních systémů (Valla et al., 2000).

Mikroagregáty tvořené komplexem humusových látek a jílových částic vykazují vysokou stabilitu, kdežto makroagregáty, které jsou tvořeny spíše labilní organickou hmotou (kořínky, hyfy hub) vykazují nižší stabilitu (Angers a Caron, 1998). Stabilitu půdní struktury nepřímo ovlivňují snadno rozložitelné organické látky, které se do půdy dostávají z rostlinných zbytků a organických hnojiv. Větší množství těchto látek v půdě jednak zvyšuje mikrobiální aktivitu a působí tmelivě. Při periodickém dodávání organického materiálu do půdy vykazuje stabilita určitou periodicitu (Pavel, 1984).

S tvorbou agregátů probíhá i proces opačný - destrukce. Nejvýznamnějším destrukčním činitelem je voda. Dopadem dešťových kapek jsou mechanicky rozbíjeny agregáty v povrchové vrstvě půdy. Při pronikání vody do půdy také dochází k rozplavování agregátů. Tyto negativní vlivy jsou obzvláště výrazné při prudkých vydatných srážkách a u půd nekrytých vegetací.

Negativní vliv ve vztahu k půdní struktuře může mít také obdělávání půdy. Stabilita agregátů se snižuje těžkou technikou a používáním umělých hnojiv (Kodešová et al., 2009a). Za sucha jsou agregáty drceny a za mokra se tvoří velké hroudy, které po vyschnutí tvrdnou a obtížně se rozpadají. Tato skutečnost se týká nejen nejsvrchnější části půdy, ale může zasahovat i do hloubky, kde vznikne podorniční podlaha, která velmi zhoršuje fyzikální stav půdy a omezuje růst kořenů (Pavel, 1984). Obecně platí, že orná půda je náchylnější k degradaci půdní struktury než půda trvale zatravněná (Lhotský et al., 1997). Půda s trvalými travními porosty je bohatá na půdní organickou hmotu, která snižuje smáčivost agregátů a zvyšuje jejich stabilitu. Orná půda je naopak chudší na organickou hmotu, agregáty jsou rychleji ovlhčovány a dochází k jejich destrukci (Lhotský et al., 1997).

3.1.3 Metody stanovení stability půdní struktury

Existuje mnoho metod stanovení stability agregátů (tabulka 3). Výběr metod a vyhodnocení jejich výsledků závisí na účelu měření. Nejběžnější metoda užívaná pro měření stability agregátů je prosévání za vlhka. Další metody jsou založené například na modelování kinetické energie při nárazu dešťové kapky, ultrazvukovém rozptylu nebo na rozpadu

agregátů poté, co se náhle ponoří do vody (Rohošková a Valla, 2004). Tyto metody se liší v charakteristice analyzovaného vzorku (struktura, vlhkost), ve zkoumaném mechanismu působící rozpad agregátů, v metodice stanovení nebo ve vyjádření výsledku (Le Bissonnais, 1996).

Tabulka 3: Charakteristiky některých metod pro stanovení stability agregátů (Le Bissonnais, 1996)

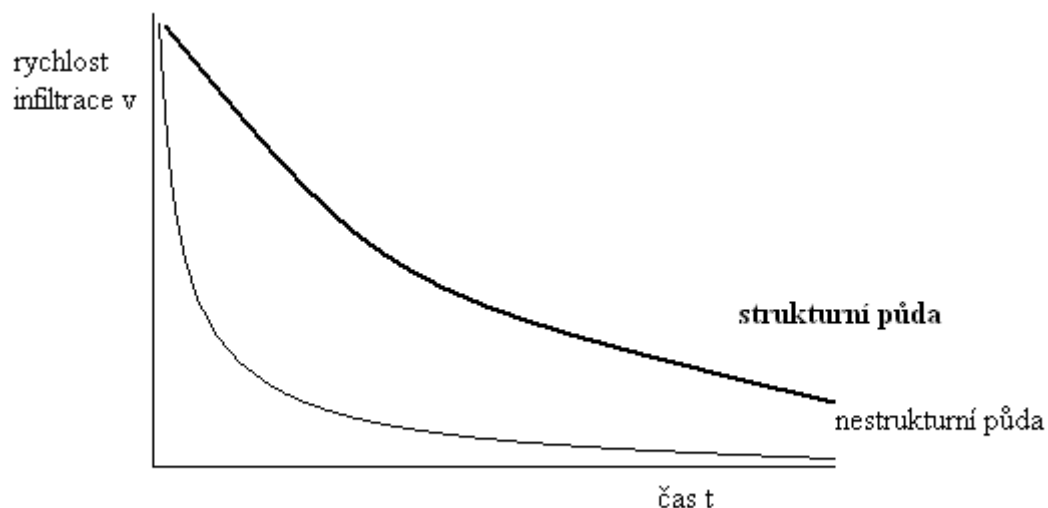
Metoda	Forma vzorku	Vyjádření výsledku	Autoři
Prosévání za vlhka („wet sieving“)	3-5 mm < 2 mm celá půda 1-2 mm 2-3.4 mm 1-2 mm	MWD % > 200 μm změna v MWD % > 250 μm MWD % > 250 μm	Yoder (1936) Hénin et al. (1958) De Leenheer (1959) Kemper a Rosenau (1986) Churchman a Tate (1987) Pojasok a Kay (1990)
Dešťové kapky, srážky	4-5 mm 2-9 mm 5-8 mm celá půda	čas rozpadu MWD čas rozpadu % < 125 μm	Low (1967) Young (1984) Farres (1987) Loch (1994)
Ultrazvuková disperze	4-5 mm 4-5 mm	stupeň disperze objem pórů mezi agregáty	Edwards a Bremner (1967) Grieve (1980)
Ponoření do vody	3-5 mm	kvalitativní	Emerson (1967)
Prosévání za sucha („dry sieving“)	< 4 mm	MWD	Kemper a Chepil (1965)

MWD – střední vážený průměr (Mean weight diameter)

3.1.4 Význam půdní struktury

Struktura půdy ovlivňuje množství a skladbu póru podle velikosti, tj. zastoupení pórů kapilárních, semikapilárních a nekapilárních. Pokud je příznivá struktura, infiltrace je dostatečně velká. Dobrá struktura půdy znamená dobré technologické vlastnosti půdy při jejím zpracování a také optimální tepelné poměry půdy. Schopnost půdy zadržet dostatečnou zásobu vody pro rostliny, je podmíněna kapilárními póry uvnitř agregátů, zatímco meziagregátové hrubší póry umožňují hlubší provlhčení půdy. K dobré výměně vzduchu v optimálně velkých pórech přispívá pohyb vody např. při zasakování, kdy je vzduch od povrchu do půdy transportován (Drbal, 1986). Struktura půdy také ovlivňuje růst a rozvoj

kořenů a lepší uvolňování živin. Zvláště důležitá je úloha struktury v povrchové vrstvě půdy. Ovlivňuje příjem, retenci a transfer vody v půdě. Má vliv na zranitelnost půdy vůči erozi. Stupeň vývoje struktury v povrchovém horizontu půdy značně ovlivňuje hydraulické vlastnosti půdy a její úrodnost. Rychlost infiltrace u nestruturních půd je nižší a dále se velmi rychle snižuje, zatímco u strukturní půdy se počáteční rychlost infiltrace během času snižuje mírněji (obrázek 3). Prudké snížení na nestruturní půdě je způsobeno rozpadem pseudoagregátů (půdní hmota rozdrobena na větší či menší útvary náhodných tvarů) a vznikem půdního škraloupu (Kutílek, 1978). Vzduch uzavřený v pórech pod škraloupem zhoršuje průběh infiltrace (Lipiec et al., 2009), zatímco u strukturní půdy nedochází k rozplavení agregátů a vzduch z půdních pórů uniká. Srážková voda se proto na nestruturní půdě ztrácí povrchoвым odtokem a výparem a pouze v malé míře zvlhčuje půdu. Výpar z nestruturní půdy je vyšší než z půdy strukturní (Kutílek, 1978).



Obrázek 3: Průběh infiltrace na strukturní a nestruturní půdě (Kutílek, 1978)

Strukturní půda humusového horizontu má pozitivní vliv na infiltraci, zatímco nestruturní půda je z hlediska vodohospodářského nevýhodná, protože zvyšuje povrchový odtok, zmenšuje příjem vody do půdního profilu a snadněji podléhá vysušování (Kutílek, 1978). Celkový přehled vlastností strukturních a nestruturních půd je uveden v tabulce 4.

Tabulka 4: Přehled vlastností půdy se strukturním a nestrukturním humusovým horizontem (Kutílek, 1978)

Vlastnost	Půda	
	strukturní	nestrukturní
soudržnost	menší	větší
obdělavitelnou	snadnější	těžší
objemová hmotnost	menší	větší
kvalita pórů	lepší	horší
infiltrace	vysoká	nízká
povrchový odtok	nízký	vysoký
výpar	menší	větší
provzdušenost	dobrá	nedostatečná
ohrožení erozí	menší	větší

3.2 Hydrofyzikální vlastnosti půdy

3.2.1 Vlastnosti půdní vody

Hydropedologickými vlastnostmi rozumíme proudění vody v půdě. Voda vyskytující se trvale nebo dočasně v půdě ve skupenství plynném, kapalném i pevném je označována jako půdní voda. Půdní voda je součástí koloběhu v přírodě. Voda do půdy vstupuje prostřednictvím srážek, podzemní vody, závlahy. Půda o vodu přichází díky povrchovému a podzemnímu odtoku, evaporaci a transpiraci. Půda zadržuje srážkovou vodu, zpomaluje její odtok a podmiňuje vznik zásob podzemní vody. Zadržování podzemní vody je důležitou vlastností půdy, která závisí především na textuře a struktuře (Klimo, 1990).

Nejvýznamnější je voda ve stavu kapalném. Půdní voda přispívá k pohybu látek v půdním profilu. Má vliv na řadu fyzikálních vlastností, na tepelný režim, na objemové změny, apod. (Kutílek, 1978). Je nenahraditelným životním faktorem pro růst rostlin a edafonu. Prostřednictvím vody přijímají organismy živiny potřebné pro růst a životní funkce.

Půdní voda ovlivňuje půdní strukturu. Ztráty objemu vody vedou k vývoji trhlin, které mohou být velké až 5 cm a sahat do hloubky až 80 cm. Toto závisí na vlastnostech půdy, na klimatických poměrech a na přítomnosti vegetace (Angers a Caron, 1998). Tyto trhliny způsobují rozpad půdní struktury.

Kodešová et al. (2009a) naopak píše, že režim půdní vody je vysoce ovlivněn půdní strukturou a její stabilitou. Nestabilita půdní struktury vede k vytvoření méně propustné nebo dokonce nepropustné vrstvy a následkem toho se sníží vodní tok uvnitř půdního profilu.

3.2.2 Půdní vlhkost

Půdní vlhkost je množství vody v pórech, vyjádřené buď jako bezrozměrná veličina, tedy poměrné číslo menší než 1, nebo vyjádřené v procentech objemových nebo hmotnostních (Valla et al, 2006). Voda je v půdě poutána větší či menší silou, k jejímuž překonání je třeba vynaložit určitou práci, a sice tím větší, čím méně vody půda obsahuje. Vztah vody a půdy není v celém rozsahu vlhkosti energeticky homogenní a pro jeho určení je proto uvažovat vedle množství vody také její energetické poměry, tj. sílu poutání a dostupnost pro rostliny.

Vlhkost půdy je sice základní kvantitativní charakteristikou vztahu mezi půdou a vodou, tento vztah však plně nevystihuje, poněvadž neuvažuje jeho silové poměry. Na vodu v půdě působí různé síly. V určitém rozsahu vlhkosti převládá pouze jedna síla, i když ostatní působí také, jsou však v minimu. Vzhledem k tomu, že na půdní vodu působí nejvýrazněji síly adsorpční, kapilární a gravitační, dělíme kategorie vody na adsorpční, kapilární a gravitační.

Voda adsorpční zahrnuje molekuly vody poutané k povrchu pevných částic adsorpčními a osmotickými silami. Tato voda je pro rostliny nepřístupná, v kapalném stavu je prakticky nepohyblivá. Když se zvyšuje vlhkost půdy, působnost adsorpčních sil klesá a začínají se uplatňovat síly kapilární (Kutílek, 1978).

Voda kapilární je dána intervalem vlhkosti podmíněném výrazně převládajícími kapilárními silami. Jsou to síly vznikající při vytváření menisku spojeného s adhezními silami mezi vodou a povrchem pevných částic a kohezních sil mezi molekulami vody. Vzlíná tenkými kanálky směrem k povrchu. Je v pórech o průměru 0,2 – 10 mm a je dostupná pro rostliny.

Na gravitační vodu působí převážně síla tíže a její pohyb je nepatrně ovlivněn půdou. Proto se v půdním profilu vyskytuje jen krátkodobě a stéká hrubými gravitačními póry (velikost > než 10 mm) jako prosakující gravitační voda. Jedná se o vodu volnou.

Povrchový odtok vody v krajině je velmi ovlivňován zemědělskou činností. Omezení povrchového odtoku vody patří jednomu z cílů řízení zemědělské výroby. Z hlediska ochrany životního prostředí a vodního hospodářství má zásadní význam rychlost pohybu vody v půdě. Snižování propustnosti půdy pro vodu vede ke zvyšování povrchového odtoku a erozi půd. Splav zeminy vodou ze srážek může mít výrazný vliv na degradaci půdy zejména na svažitých pozemcích (Šarapatka et al., 2002).

3.2.2.1 Vlhkostní charakteristiky

Momentální vlhkost (θ_{mom}) - vlhkost půdy v době odběru vzorku. Udává se v procentech objemových nebo hmotnostních. Pro pedologické účely se dává přednost objemovému vyjádření vlhkosti. Pro určení momentální vlhkosti v procentech objemových je třeba odebrat vždy neporušený vzorek a zvážit jej ihned po odběru.

Kapilární nasáklivost (θ_{ns}) - charakteristika zavedená V. Novákem pro maximální zaplnění pórů při kapilárním nasycování zeminy. U půd bobtnavých je nasáklivost rovna pórovitosti. U nebobtnavých půd je hodnota nasáklivosti pouze přibližně rovna pórovitosti (často o něco nižší).

Vlhkost po 30 minutách (θ_{30}) - charakteristika sloužící ke klasifikaci půdních pórů, zavedená na základě studia odsávání vody z válečku na čtyřnásobně složeném filtračním papíru v závislosti na čase. Bylo zjištěno, že po 30 minutách dojde k rychlému poklesu vlhkosti, zřejmě z hrubých nekapilárních pórů.

Maximální kapilární vodní kapacita (θ_{MKK}) - podle Nováka charakterizuje schopnost půdy zadržet vodu pro potřeby vegetace v kapilárních pórech, po předchozím nasycení vodou (Frouz et al., 2003). Její hodnota závisí na objemu a rozměrech pórů a na obsahu humusu (Zbiral, 2004).

Retenční vodní kapacita (θ_{RVK}) - představuje už dosti ustálený stav vlhkosti. Voda v pórech je pod výhradním vlivem kapilárních sil, tedy v kapilárních pórech. Pro retenční vodní kapacitu ztotožňujeme s kapilárními póry.

3.2.2.2 Vzdušné charakteristiky

Provzdušenost půdy (V_z) - dána procentem pórů vyplněných vzduchem při momentální vlhkosti. Provzdušenost může nabývat velmi různých hodnot od nuly až po hodnotu pórovitosti. Nižší hodnoty provzdušenosti znamenají zamokření půdy a je zapotřebí melioračního zásahu (Valla et al., 2006). Vzduch vyplňující půdní póry má velký význam. Podmiňuje směr průběhu chemických a biologických procesů, při jeho dostatečném obsahu probíhají aerobní a oxidační procesy. Také rostliny ke svému růstu potřebují vzduch v pórech (Frouz et al., 2003).

Vzdušná kapacita půdy (K_{vz}) - dána procentem pórů vyplněných vzduchem při vodní kapacitě půdy. Vzdušná kapacita je závislá na zrnitostním složení půdy, na struktuře a pórovitosti. Vzdušná kapacita podléhá sezónní změně, mění se v závislosti na změnách

vlhkosti, struktury a na rozvoji vegetace. Největším změnám podléhá v ornici, kde se uvedené vlivy uplatňují v maximální míře a navíc je v humusovém horizontu ovlivněna obděláváním půdy.

3.2.2.3 Doplnkové charakteristiky

Specifická hmotnost půdy (ρ_z) - hmotnost objemové jednotky pevné složky půdy bez pórů. Hodnota specifické hmotnosti je ovlivněna poměrným zastoupením jednotlivých minerálů různé specifické hmotnosti. Specifická hmotnost půdy se stanovuje pyknometricky.

Objemová hmotnost půdy (ρ_d) - hmotnost objemové jednotky zeminy v neporušeném stavu, tj. s póry. Závisí jednak na hustotě tuhé fáze půdy, jednak na objemu pórů respektive pórovitosti. Při vysušení zeminy při 105°C se objemová hmotnost vztahuje na tuhou fázi s póry vyplněnými jen vzduchem a jde o objemovou hmotnost redukovanou (Zbíral, 2004). Takto vyjádřená objemová hmotnost je stálejší, ale přesto se mění během roku. Příčinou jsou změny vlhkosti (bobtnání a smršťování), mráz, změny půdní struktury, obdělávání, rozvoj kořenového systému. Většina uvedených faktorů působí více v povrchových horizontech.

Například kypřícími zásahy a především pak orbou dochází k výrazným změnám objemové hmotnosti. Po nakypření se zvyšuje a zpravidla do jednoho roku se vrací do výchozího přirozeného stavu. Proto samotné zpracování půdy má pouze krátkodobý účinek. Za opatření, která mají dlouhodobější vliv na změny objemové hmotnosti, lze považovat hnojení organickými hnojivy, vápnění, vylehčování těžkých půd nebo naopak slínování lehkých půd (Kutílek, 1978).

3.2.2.4 Charakteristiky pórovitosti

Pórovitost půdy (P) - udává, kolik procent z jednotkového objemu půdy v přirozeném uložení připadá na póry. Vypočítá se pomocí objemové a specifické hmotnosti. Póry mají různý tvar a velikost a zpravidla jsou spojitě. Velikost pórů ovlivňuje chování vody v nich a podle toho se rozeznávají póry kapilární, semikapilární a nekapilární (Zbíral et al., 2004). Podle velikosti průměru se póry dělí na makropóry (průměr větší než 50 μm) a mikropóry (průměr menší než 50 μm). Toto dělení souvisí s jejich funkcí. Makropóry dovolují rychlý pohyb vody, např. průsak při silném dešti nebo závlaze. Když půda vysychá, nejprve se vyprázdňují makropóry (Frouz et al., 2003).

Hodnota pórovitosti se pohybuje ve velkém rozmezí v závislosti na zrnitosti, na obsahu humusu v půdě, na struktuře atd. (tabulka 5). Pórovitost není konstantní vlastností půdy, její hodnota se mění během roku, podobně jako objemová hmotnost. Na změnu pórovitosti má podstatný vliv vlhkost půdy. Bobtnání při zvlhčování je provázeno zvyšováním pórovitosti, naopak smršťování při vysychání je spojeno se snižováním pórovitosti (Kutílek, 1978).

V minerálních půdách může pórovitost dosáhnout hodnot mezi 26 až 80 %, u organických půd nebo horizontů až 90 %. Pórovitost písčitých půd je 35 - 45 %, jílovitých 40 – 60 %, humózních 70 – 80 % a utužených půd 25 – 30 %. V glejových horizontech klesá pod 30 %, v hlubších horizontech písčitých půd bývá 35 – 40 %, hlinitých a jílovitých půd 40 -50 % (Zbíral et al., 2004).

Tabulka 5: Hodnocení strukturního stavu humusového horizontu podle pórovitosti (Kutílek, 1966 příloha č. 8 k vyhlášce č. 275/1998 Sb. ve znění pozdějších předpisů).

Strukturní stav humusového horizontu	Pórovitost (%)
výborný	> 54
dobrý	46 - 54
nevyhovující	39 - 46
nestrukturní	31 - 39

Póry kapilární (P_k) - číselně totožné s hodnotou θ_{RVK} . Vedou vodu proti gravitaci, pohyb vody je ovládán kapilaritou. Pohyb vzduchu v kapilárních pórech je omezený. Optimální zastoupení kapilárních pórů má být asi 1/3 až 2/3 z pórovitosti, zbytek má být přibližně rovným dílem rozdělen mezi póry semikapilární a nekapilární. Nadbytečné zastoupení znesnadňuje infiltraci vody do půdy, půda přijímá málo vody, provlhuje se do malé hloubky, srážky jsou málo využity, zvyšuje se povrchový odtok s nebezpečím eroze na svahu. Po skončení srážkového zavlažení taková půda rychle vysychá. Nedostatek kapilárních pórů znamená malou zásobu vody v půdě pro rostliny.

Póry semikapilární (P_s) - nastává v nich pozvolné ustalování půdní vody na retenční vodní kapacitu, vyjadřují přechod mezi póry kapilárními a nekapilárními. Umožňují dobré pronikání vody do půdy a jejím dočasným zadržením umožňuje nasycení kapilárních pórů do větších hloubek.

Póry nekapilární (P_n) - představují dutiny v půdě, z nichž gravitační voda téměř okamžitě odtéká. Umožňují pronikání vody do půdy a její pronikání do hloubky. Při jejich nadbytečném zastoupení se vlhkost půdy v povrchové vrstvě příliš nezvyšuje, rychlost prosakující vody je tak velká, že není zabezpečeno nasycení kapilárních pórů, voda se ztrácí

do hloubky z dosahu kořenů rostlin. Zásoba vody v této půdě je nízká. Vzduch se v těchto pórech pohybuje volně.

3.2.3 Hydraulická vodivost

Schopnost půdy přenášet vodu je charakterizována hydraulickou vodivostí, její měření mají dlouhou tradici zejména v nasycených půdních podmínkách, např. při odvodňování zemědělských půd, stanovišť, vodohospodářských staveb, atd. Hydraulická vodivost půdy je jedna z nejdůležitějších hydraulických vlastností, která ovlivňuje pohyb vody. Mladšího data jsou měření hydraulické vodivosti v nenasyčených podmínkách (Valla et al., 2006).

Porézní systémy půd jsou ovlivňované mineralogickým složením, stupněm rozpadu agregátů, organickou hmotou, obsahem půdní vody, transportními procesy uvnitř profilu půdy, počasím a kořeny rostlin. Stabilita půdní struktury a uspořádání půdního porézního systému ovlivní půdní hydraulické vlastnosti (Kodešová et al., 2006).

Velikost pórů a transport vody je ovlivněn agregáty a kontakty mezi nimi. Když uvažujeme o podmínkách pro růst rostlin, tak velké agregáty jsou pro kořeny rostliny méně přístupné než malé. Hydraulické vlastnosti se mohou lišit i v různých částech agregátů. Zvětšený podíl jemných pórů v agregátech sníží přístupnost vody pro rostliny. Stlačování půdy má za následek menší nasycenou hydraulickou vodivost (Lipiec et al., 2009).

Měření nenasyčené hydraulické vodivosti jsou složitá, provádějí se laboratorním měřením na odebraných půdních vzorcích nebo v terénu. V současné době bývá dávana přednost stanovení nenasyčené hydraulické vodivosti přímo v terénních podmínkách. Hydraulickou vodivost půdního prostředí lze určit z rychlosti infiltrace.

3.2.4 Infiltrace

Infiltrace je rychlost, kterou vsakuje voda do půdy, v terénu je měřena z výtopy povrchu nebo z deště, ať již z přírodního nebo simulovaného. Tato rychlost je nazývána infiltrační schopnost a je určitou charakteristikou půdního profilu za určitých specifických podmínek. Infiltrace závisí na době trvání, počáteční vlhkosti, hydraulické vodivosti a vlastnostech půdního povrchu (Kozák et al., 2005).

Schopnost infiltrovat je dáno půdními hydraulickými vlastnostmi a počáteční vlhkostí. Z rychlosti infiltrace lze stanovit hydraulickou vodivost půdního prostředí. Schopnost

infiltrace je důležitá pro plánování zavlažování a modelování přívalových dešťů (Strudley, 2008).

Pro stanovení infiltrace se používají jednoválcové a dvouválcové infiltrometry. Nejběžnější je použití dvouválcového kruhového infiltrometru (Valla et al., 2006). Princip je založen na sledování poklesu hladiny vody v měřicím válci v pravidelném časovém intervalu.

3.3 Sezónní variabilita půdních vlastností

Strukturní stav humusového horizontu půdy není stálá vlastnost, podléhá sezónní variabilitě. Momentální stav závisí na momentální vlhkosti, na předcházejícím kolísání vlhkosti, na četnosti výskytu srážek. Také obsah i kvalita strukturotvorných látek kolísají během roku. Dále sezónní variabilita půdních vlastností a stability struktury závisí na minerálním hnojení, na pojezdech těžkých mechanických strojů. Zpracování půdy může ovlivnit půdní hydraulické vlastnosti v čase (Strudley et al., 2008).

Sjuwardji and Eberbach (1998) zkoumali vliv pěstebních technologií, kulturní plodiny, populace žížal, klimatických podmínek a času na stabilitu půdních agregátů, vlhkost půdy a koeficient hydraulické vodivosti. V této studii byla zjištěna časová variabilita jak u stability agregátů, tak i u nasycené a nenasycené hydraulické vodivosti. Stabilita agregátů se po termínu setí snížila, dále ve sledovaném období už se jen zvyšovala. Hodnoty hydraulických vodivostí vykazovaly stejný průběh změn (markantnější byly změny u nasycené hydraulické vodivosti) během sledování. Na počátku sledování (konec června) se hodnoty snižovaly, na přelomu července a srpna se opět začaly zvyšovat. Koncem srpna se hodnoty hydraulických vodivostí znovu snižovaly.

Chan et al. (1994) sledoval variabilitu ve změnách stability půdních agregátů v povrchové vrstvě půdy. I zde bylo počítáno s vlivem kulturní plodiny a použité pěstební technologie na fyzikální vlastnosti. Zjistil, že sezónní kolísání půdních vlastností je přímo závislé na momentální vlhkosti půdy v době jejího odběru. I tato studie popisuje časovou změnu stability půdních agregátů. Studie vykazala pokles stability koncem května. Dále se stabilita agregátů jen zvyšovala a to až do období zimních měsíců, kdy se začala opět snižovat. Výsledky ukazují vysokou nestabilitu v zimních měsících kvůli vyššímu obsahu půdní vody. V této době není doporučováno provádět žádné kultivační zásahy. Byla zde sledována i závislost půdní vlhkosti na druhu pěstované obilniny. Bylo zjištěno, že pod jednotlivými druhy plodin může mít půda různou vlhkost.

Vlhkost půdy se mění v širokém rozmezí během roku. Je závislá na srážkách, výparu, odtoku, spotřebě a transpiraci rostlinami (Kutílek, 1978).

4. METODIKA

4.1 Charakteristika území

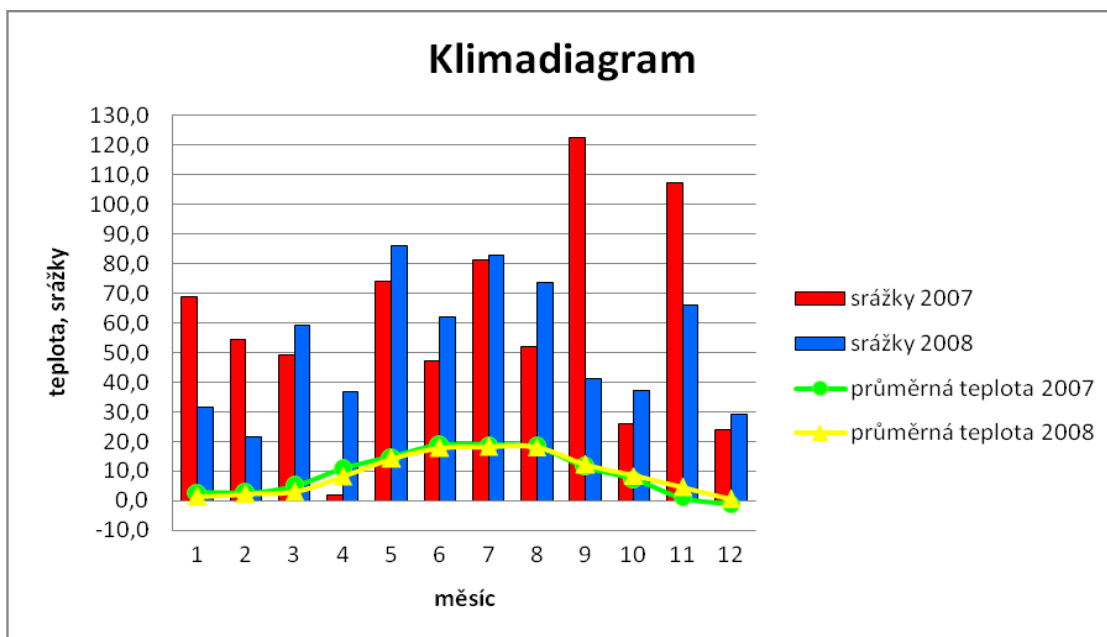
Sezónní variabilita stability půdní struktury a hydraulických vlastností půdy byla sledována v lokalitách Humpolec, Čáslav a Hněvčeves. Tyto lokality patří do sítě pokusných stanic Výzkumného ústavu rostlinné výroby v Ruzyni. Na těchto lokalitách probíhají další výzkumy katedry pedologie a ochrany půd.

4.1.1 Lokalita Humpolec

Lokalita Humpolec leží v Českomoravské vrchovině v okrese Pelhřimov v nadmořské výšce 568 m n. m. Zeměpisná šířka je 49°32'88" a zeměpisná délka je 15°32'99". Leží v klimatické oblasti MT3 - mírně teplá, vlhká oblast. Je charakterizována průměrnou teplotou vzduchu v červenci 15 °C. V tabulce 6 jsou uvedeny maximální a minimální teploty, průměrné roční teploty a srážkový úhrn v jednotlivých měsících roku 2007 a 2008. Na obrázku 4 je klimadiagram ročních průměrů.

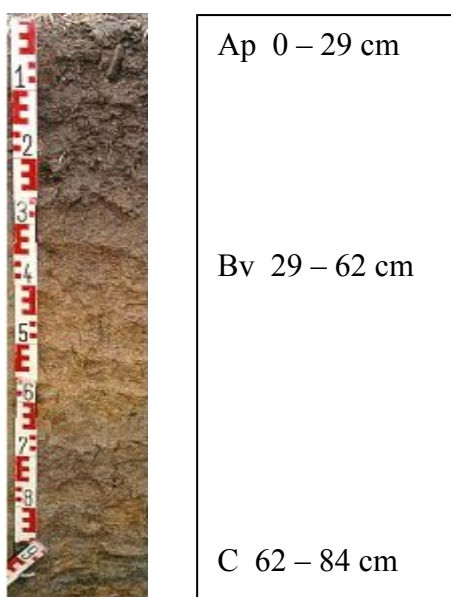
Tabulka 6: Teploty a srážkový úhrn v roce 2007 a 2008 (zdroj: VÚRV Humpolec)

rok 2007													
měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	rok
max. t °C	5,3	5,5	9,6	17,3	20,4	24,6	24,8	24,1	16,3	11,1	3,1	0,8	13,6
min. t °C	-0,1	0,1	1,1	3,9	9,1	12,9	12,9	12,8	7,4	3,9	-1,3	-3,2	5,0
průměr. t °C	2,9	2,7	5,1	10,8	14,8	18,8	18,9	18,2	11,5	7,2	1,0	-1,1	9,2
srážky (mm)	68,8	54,3	49,3	1,8	74,2	47,2	81,4	52,1	122,5	26,1	107,4	23,9	709,0
rok 2008													
měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	rok
max. t °C	3,1	6,1	7,0	13,1	19,5	23,3	23,7	23,6	17,0	13,3	6,9	2,5	13,2
min. t °C	-0,9	-1,2	-0,5	3,6	8,3	12,6	13,0	12,6	8,3	4,5	2,2	-1,2	5,1
průměr. t °C	1,3	2,3	3,1	8,3	14,2	17,9	18,2	18,0	12,3	8,5	4,6	0,6	9,1
srážky (mm)	31,5	21,4	59,0	36,9	86,0	61,9	82,7	73,8	41,3	37,0	65,9	29,1	626,5



Obrázek 4: Klimadiagram ročních průměrů - Humpolec

Půdním typem sledovaného pozemku je kambizem modální (obrázek 5). Půdotvorným substrátem je rula, která vznikla intenzivní metamorfózou z kyselých vyvřelin (Němeček, 2001). Kambizemě jsou na našem území nejrozšířenějším půdním typem. Nejčastěji se vyskytují se v pahorkatinách a vrchovinách. Roční úhrn srážek se pohybuje mezi 500 – 900 mm, průměrná roční teplota je 4 – 9 °C. Kambizemě jsou nejvíce rozšířeny mezi 450 – 800 m n. m. a vázány většinou na členitý reliéf (Tomášek, 2007).



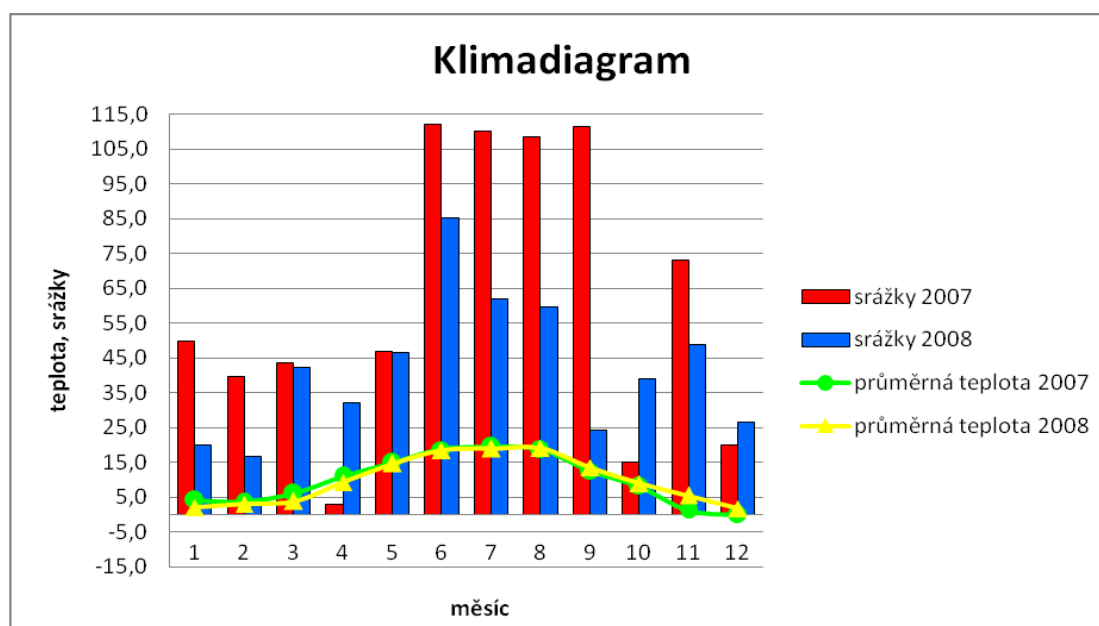
Obrázek 5: Půdní profil (zdroj: VÚRV Humpolec)

4.1.2 Lokalita Čáslav

Lokalita Čáslav leží ve Středočeském kraji, od severovýchodu je ohraničena pásem Železných hor. Leží v nadmořské výšce 263 m n. m. Zeměpisná šířka je 49°85'54" a zeměpisná délka je 15°40'54". Čáslav spadá do klimatické oblasti T3 – mírně teplá, mírně suchá. Zde se pravidelně vyskytuje v dlouhodobém průměru více než 50 letních dnů v roce, kdy maximální teplota vzduchu je 25 °C a vyšší. V tabulce 7 jsou uvedeny maximální a minimální teploty, průměrné roční teploty a srážkový úhrn v jednotlivých měsících roku 2007 a 2008. Na obrázku 6 je klimadiagram ročních průměrů.

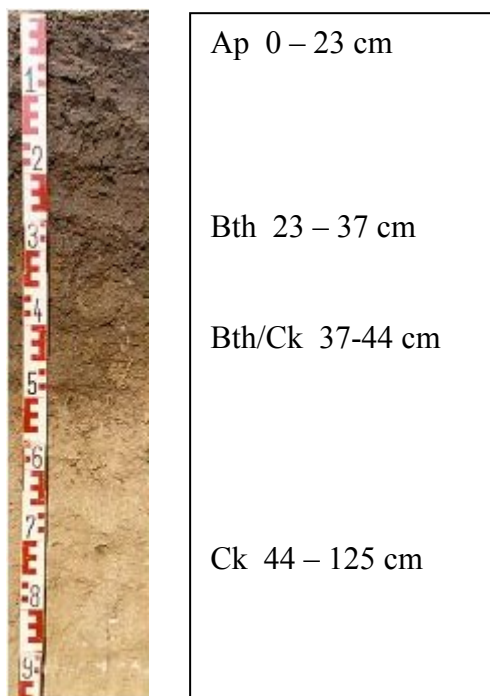
Tabulka 7: Teploty a srážkový úhrn v roce 2007 a 2008 (zdroj: VÚRV Čáslav)

rok 2007													
měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	rok
max. t °C	15,2	10,9	16,5	23,9	29,0	28,7	35,9	29,8	24,8	20,4	12,3	11,3	21,6
min. t °C	-8,5	-4,7	-4,7	-4,9	-2,0	5,6	7,1	7,8	1,1	-2,6	-8,7	-9,1	-2,0
průměr. t °C	4,2	3,6	6,1	11,1	15,0	18,8	19,5	18,7	12,5	8,1	1,3	-0,1	9,9
srážky (mm)	49,9	39,6	43,7	3,1	46,9	112,2	110,0	108,4	111,6	15,1	73,1	20,0	733,6
rok 2008													
měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	rok
max. t °C	11,5	19,3	16,3	20,8	31,1	32,5	30,8	31,2	31,9	19,2	17,7	11,2	22,8
min. t °C	-6,9	-12,3	-7,7	-4,4	-0,9	4,8	8,2	4,3	1,0	-4,4	-4,8	-11,1	-2,9
průměr. t °C	2,0	3,1	3,8	9,2	14,7	18,4	19,0	19,1	13,5	9,0	5,4	1,8	9,9
srážky (mm)	20,0	16,8	42,2	32,2	46,7	85,1	62,1	59,8	24,4	38,9	48,7	26,4	503,3



Obrázek 6: Klimadiagram ročních průměrů - Čáslav

Půdním typem je šedozem luvická na spraši (obrázek 7). Rozšíření šedozemí obvykle nepřesahuje nadmořskou výšku 300 m n. m. U šedozemí je půdotvorným substrátem výhradně spraš. Spraše jsou eolické sedimenty naváté větrem, které se vytvořily ve čtvrtohorách (Tomášek, 2007).



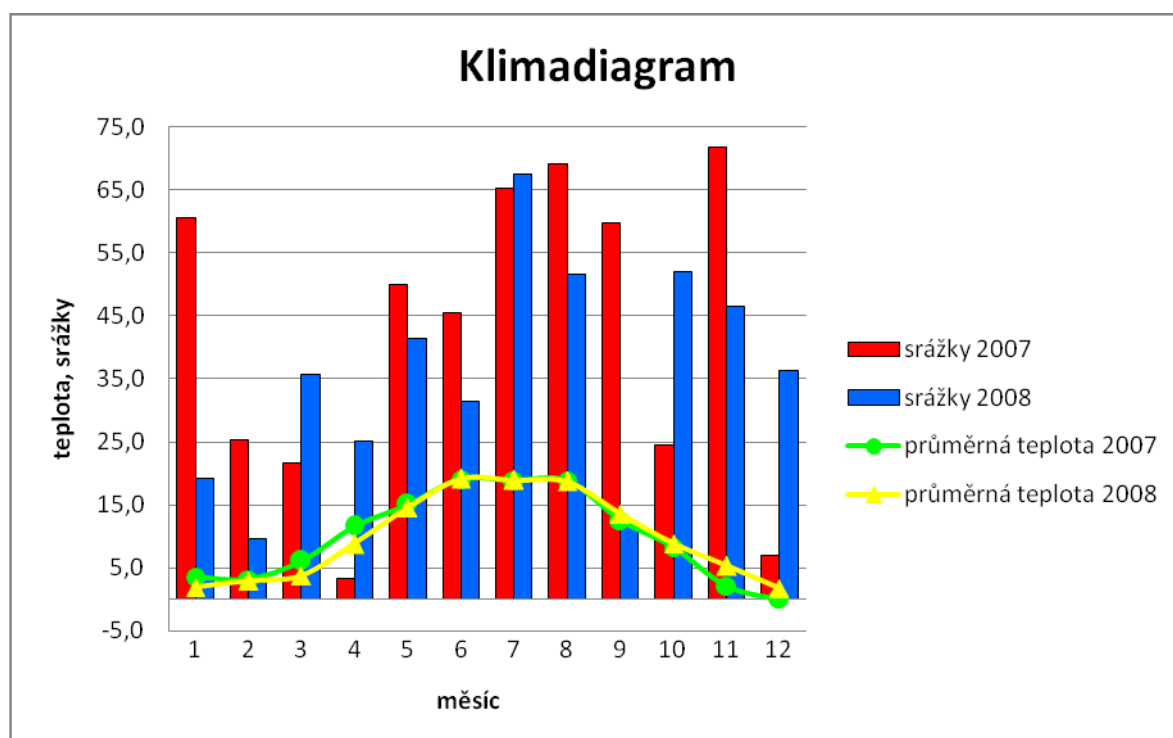
Obrázek 7: Půdní profil (zdroj: VÚRV Čáslav)

4.1.3 Lokalita Hněvčeves

Lokalita Hněvčeves se nachází ve východních Čechách, 17 km severozápadně od Hradce Králové. Leží v nadmořské výšce 265 m n. m. Zeměpisná šířka je 50°18'77" a zeměpisná délka je 15°43'01". Hněvčeves spadá do klimatické oblasti T3 – mírně teplá, mírně vlhká. Zde se pravidelně vyskytuje v dlouhodobém průměru více než 50 letních dnů v roce, kdy maximální teplota vzduchu je 25 °C a vyšší. V tabulce 8 jsou uvedeny maximální a minimální teploty, průměrné roční teploty a srážkový úhrn v jednotlivých měsících roku 2007 a 2008. Na obrázku 8 je klimadiagram ročních průměrů.

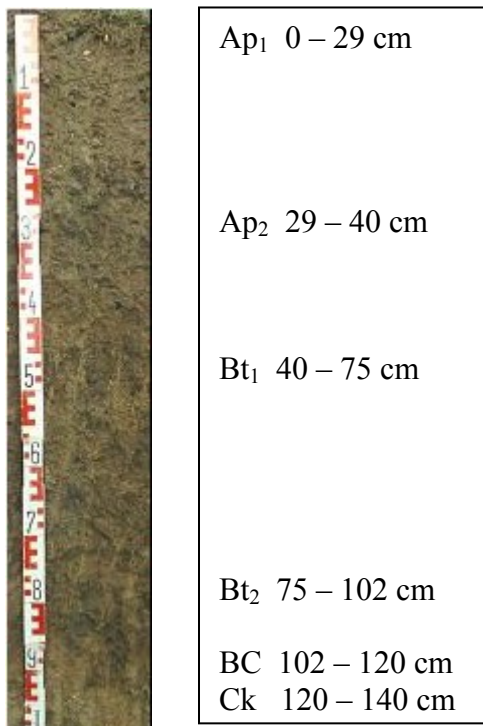
Tabulka 8: Teploty a srážkový úhrn v roce 2007 a 2008 (zdroj: VÚRV Hněvčeves)

rok 2007													
měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	rok
max. t °C	14,5	9,3	18,8	25,8	30,2	30,8	35,2	31,1	25,6	22,0	10,8	10,9	22,1
min. t °C	-12,7	-1,9	-2,2	-3,2	-0,7	6,6	8,4	8,2	3,1	-1,1	-7,0	-7,7	-0,9
průměr. t °C	3,6	3,2	6,1	11,7	15,1	19,0	18,9	18,9	12,6	8,3	2,1	0,0	9,9
srážky (mm)	60,6	25,4	21,6	3,2	49,9	45,4	65,2	69,2	59,8	24,5	71,8	7,0	503,6
rok 2008													
měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	rok
max. t °C	11,1	14,9	17,8	20,9	31,7	30,6	31,9	32,6	33,0	19,7	18,9	10,9	22,8
min. t °C	-6,4	-9,7	-5,5	-1,1	4,8	4,6	9,1	7,3	2,4	-1,4	-5,4	-7,9	-0,8
průměr. t °C	1,9	2,9	3,8	8,8	14,6	19,2	18,9	18,7	13,6	8,8	5,3	1,8	9,9
srážky (mm)	19,2	9,6	35,6	25,2	41,4	31,4	67,4	51,6	11,4	52,0	46,4	36,4	427,6



Obrázek 8: Klimadiagram ročních průměrů – Hněvčeves

Půdním typem je hnědozem modální vyvinutá na spraši (obrázek 9). Hnědozemně se nejčastěji vyskytují v nižším stupni pahorkatin nebo v okrajových částech nížin s podnebím poněkud vlhčím než u černozemních oblastí. Roční úhrn srážek se pohybuje kolem 500 mm, průměrná roční teplota je 9 °C. Hnědozemně jsou nejvíce rozšířeny mezi 200 – 450 m n. m. (Tomášek, 2007).



Obrázek 9: Půdní profil (zdroj: VÚRV Hněvčeves)

4.2 Odběr půdních vzorků

Na popsáných lokalitách (viz výše) bylo provedeno 12 odběrů neporušených půdních vzorků pro stanovení hydrofyzikálních vlastností a 12 odběrů porušených půdních vzorků ke stanovení stability půdní struktury a vybraných půdních vlastností (pH, obsah a kvalita organické hmoty). Odběr probíhal v měsíčních intervalech po dobu dvou let (tabulka 9).

Tabulka 9: Přesné datum odběru

rok 2007	rok 2008
29.3.	31.3.
3.5.	30.4.
4.6.	28.5.
3.7.	26.6.
1.8.	31.7.
29.10.	11.11.

4.2.1 Odběr neporušeného půdního vzorku

Neporušený půdní vzorek byl odebrán do Kopeckého válečku o objemu 100 cm³ v deseti opakováních. Byly umístěny vedle sebe o průměrné vzdálenosti 10 cm (obrázek 10). Válečky byly pomocí hlavy zatlučeny do půdy a vyjmuty rýčem. Vyzvednutý váleček byl opracován do požadovaného vzhledu tak, aby nebyla poškozena jeho vnitřní neporušená struktura. Upravený váleček byl přiklopen z obou stran plastovými víčky, která zabraňovala výparu vody (obrázek 11). Odebrané vzorky byly skladovány v mikrotenových sáčcích do okamžiku zpracování v laboratoři.



Obrázek 10: Rozmístění Kopeckého válečků na poli



Obrázek 11: Odebrané válečky s víčky

4.2.2 Odběr porušeného půdního vzorku

Dále byly odebrány porušené vzorky půdy ze svrchních 20 cm pro stanovení stability agregátů a vybraných půdních vlastností. Vzorky byly po odběru uchovávány ve vhodných obalech (mikrotenové sáčky).

4.3 Zpracování půdních vzorků

Odebraný půdní vzorek byl vysušen rozložený do tenké vrstvy na vzduchu. Pro agregátovou analýzu byly nejprve vyseparovány agregáty o velikosti 2 – 5 mm přesátím jemně ručně rozdrobeného vzorku přes síta o průměru ok 2 a 5 mm. Dále byl půdní vzorek rozemlet a přesát přes síto o velikosti ok 2 mm pro získání jemnozeme I. Další úprava vzorků byla prováděna dle potřeby dalšího laboratorního rozboru.

4.3.1 Laboratorní zpracování neporušeného půdního vzorku

Na neporušených půdních vzorcích byla stanovena momentální vlhkost, kapilární nasáklivost, maximální kapilární vodní kapacita, retenční vodní kapacita a celková pórovitost s doplňujícími vzdušnými charakteristikami (P_n , P_k , V_z , K_{MKKVz} , K_{RVKVz}). Tyto veličiny (tabulka 10) byly stanoveny v jednom postupu práce s neporušeným půdním vzorkem v Kopeckém válečku.

Neporušené půdní vzorky byly po odebrání zváženy pro zjištění momentální vlhkosti (θ_{mom}) na sledované ploše. Poté se vzorky nechaly sytit do maximálního nasycení pod hodinovým sklem, aby bylo zabráněno výparu vody ze vzorků a poté byly zváženy. Sycení vzorku sloužilo ke zjištění kapilární nasáklivosti půdy (θ_{ns}) - množství vody, které je půda schopna pojmout. Po zjištění hmotností plně nasycených vzorků se vzorky nechaly odsávat na čtyřnásobně složeném filtračním papíru po dobu třiceti minut. Hmotnost vzorků sloužila k výpočtu 30-ti minutové vlhkosti (θ_{30}). Ta určuje obsah vody v kapilárních a semikapilárních pórech. Další vážení následovalo po další hodině a půl odsáváním na čtyřikrát složeném filtračním papíru. Navážená hmotnost byla využita při výpočtu maximální vodní kapacity (θ_{MKK}). Předposledním vážením po 24 hodinách odsávání na filtračním papíru byla zjištěna hmotnost vzorku, která spolu s posledním vážením, které probíhalo po vysoušení vzorku do konstantní hmotnosti v sušárně při 105 °C (nejméně 6 hodin), slouží k výpočtu retenční vodní kapacity (θ_{RVK}).

Vyschlá zemina byla pak z válečků vysypána a rozdrčena ve třecí misce na jemnozeme I (zrna o velikosti menší než 2 mm), která se dále použila ke stanovení měrné specifické hmotnosti částic (ρ_z).

Stanovení měrné (specifické) hmotnosti částic (ρ_z) bylo provedeno pyknometricky – vodním pyknometrem. Stanovuje se tak, že se navážka sušiny v malé porcelánové misce zalije destilovanou vodou a 5 minut se povaří, aby se vypudil vzduch. Pyknometr naplněný

destilovanou vodou se temperuje ve vodní lázni na 20 °C a zváží. Voda se vylíje a do pyknometru se kvantitativně vpraví vychladlá suspenze. Po vytemperování se pyknometr znovu zváží. Principem stanovení měrné (specifické) hmotnosti půdy je hmotnost objemové jednotky pevné složky půdy (tzv. bez pórů).

Tabulka 10: Přehled výpočtů

Stanovení	Symbol	Provedení	Jednotka
Momentální vlhkost	θ_{mom}	$G_A - G_F$	% obj.
Nasáklivost	θ_{ns}	$G_B - G_F$	% obj.
Vlhkost 30-minutová	θ_{30}	$G_C - G_F$	% obj.
Maximální kapilární vodní kapacita	θ_{MKK}	$G_D - G_F$	% obj.
Retenční vodní kapacita	θ_{RVK}	$G_E - G_F$	% obj.
Specifická hmotnost	ρ_z	$n/(n+p_{\text{H}_2\text{O}}-p_z)$	g.cm^{-3}
Sušina	G_H	$G_F - G_V$	g
Objemová hmotnost	ρ_d	G_H/V_s	g.cm^{-3}
Pórovitost	P	$(\rho_z - \rho_d)100/\rho_z$	% obj.
Pórovitost kapilární	P_k	θ_{RVK}	% obj.
Pórovitost nekapilární	P_n	$P - \theta_{30}$	% obj.
Provzdušenost	V_z	$P - \theta_{\text{mom}}$	% obj.
Maximální kapilární vzdušná kapacita	K_{MKKV_z}	$P - \theta_{\text{MKK}}$	% obj.
Retenční vzdušná kapacita	K_{RVKV_z}	$P - \theta_{\text{RVK}}$	% obj.

Výchozí hodnoty nutné k výpočtům:

G_A – vzorek s přirozenou vlhkostí (g)

G_B – vzorek kapilárně nasycený (g)

G_C – vzorek po 30 minutách odsávání (g)

G_D – vzorek po 2 hodinách odsávání (g)

G_E – vzorek po 24 hodinách odsávání (g)

G_F – vzorek po vysušení při 105 °C (g)

G_H – čistá hmotnost vzorku po vysušení při 105 °C (g)

G_V – hmotnost Kopeckého válečku (g)

n – navážka pro stanovení specifické hmotnosti (g)

$p_{\text{H}_2\text{O}}$ – hmotnost pyknometru s vodou (g)

p_z – hmotnost pyknometru se zeminou (g)

V_s – objem Kopeckého válečku (cm^3)

4.4 Analýza vzorků

4.4.1 Stanovení ve vodě stabilních agregátů

Ve vodě stabilní agregáty (WSA) byly stanoveny pomocí metody, kterou navrhli autoři Kemper a Rosenau (1986, cit. Diaz-Zorita et al., 2002) a její postup je uveden v Nimno, Perkins (2002). K této metodě je potřeba přístroj „Wet sieving apparatus“ se sítí s velikostí ok 0,25 mm (obrázek 12) a dispergační činidlo. Stanovení bylo provedeno ve čtyřech opakováních.

Naváží se 4 g agregátů o velikosti 2 – 5 mm vyschlých na vzduchu a umístí se na síta promývacího přístroje. Agregáty se promývají v očíslovaných miskách s destilovanou vodou po dobu tří minut. Pak se misky s destilovanou vodou nahradí miskami s dispergačním činidlem (hexametafosforečnan sodný) a pokračuje se v promývání. Dispergační činidlo rozplaví agregáty až na elementární půdní částice. Na síti zbudou jen zrna písku, které jsou větší než 0,25 mm. Obě sady misek se suší v sušárně do konstantní hmotnosti při 110 °C. Určí se hmotnost sušiny materiálu v každé misce. Agregáty, které se ve vodě rozpadly, byly nestabilní, zato ty které zůstaly na síti, byly stabilní (Rohošková a Valla, 2004).

Stabilita agregátů stanovená touto metodou byla vyjádřena pomocí indexu ve vodě stabilních agregátů WSA, který udává poměr hmotnosti ve vodě stabilních agregátů k celkové hmotnosti vzorku vzatého do analýzy s vyloučením písku. Vypočte se:

$$WSA = W_{ds} / (W_{ds} + W_{dw})$$

WSA.... index ve vodě stabilních agregátů

W_{ds}..... hmotnost agregátů rozptýlených v dispergačním činidle

W_{dw}..... hmotnost agregátů rozpadlých v destilované vodě

Čím je hodnota indexu WSA blíže k jedné, tím se jedná o agregáty více stabilní ve vodě.



Obrázek 12: Příklad přístroje *Wet sieving apparatus*

4.4.2 Stanovení aktivní půdní reakce potenciometricky

Do 50 ml kádinky se naváží 10 g zeminy (jemnozem I). Přidá se 20 ml předvařené a vychladlé destilované vody. Předvaření vody má za cíl vypudit CO_2 , který reakcí s H_2O vytváří kyselinu uhličitou a snižuje pH. Směs se míchá 5 minut tyčinkou. Přímou v suspenzi se měří kombinovanou skleněnou elektrodou hodnota pH (Zbíral, 1995). Stanovení bylo provedeno ve třech opakováních. V tabulce 11 jsou uvedeny kritéria hodnocení aktivní půdní reakce.

Tabulka 11: Kritéria hodnocení aktivní půdní reakce (Valla et al., 2006)

$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$	Hodnocení
< 4,9	silně kyselá
4,9 – 5,9	kyselá
5,9 – 6,9	slabě kyselá
6,9 – 7,1	neutrální
7,1 – 8,0	slabě alkalická
8,0 – 9,4	alkalická
> 9,4	silně alkalická

4.4.3 Stanovení výměnné půdní reakce potenciometricky

Do umělohmotné 250 ml lahve se naváží 40 g zeminy a přidá se 100 ml 1M KCl. Vzorek se třepe 45 minut na třepačce, potom se nechá 15 minut stát. Suspenze se přelije do 100 ml kádinky, zamíchá a ihned se změří pH-metrem s kombinovanou skleněnou elektrodou hodnota pH_{KCl} (Zbiral, 1995). Hodnota pH_{KCl} bývá obvykle zhruba o půl stupně nižší než je hodnota pH_{H_2O} . Stanovení bylo provedeno ve třech opakováních. V tabulce 12 jsou uvedena kritéria hodnocení výměnné půdní reakce.

Tabulka 12: Kritéria hodnocení výměnné půdní reakce (Valla et al., 2006)

pH_{KCl}	Hodnocení
< 4,5	silně kyselá
4,5 – 5,5	kyselá
5,5 – 6,5	slabě kyselá
6,5 – 7,2	neutrální
> 7,2	alkalická

4.4.4 Stanovení obsahu humusu modifikovanou Tjurinovou metodou

Principem stanovení je oxidace uhlíku půdních organických látek. Stanovené množství uhlíku je pak přepočteno na obsah humusu.

Do 100 ml kádinky se naváží 0,25 g jemnozeme II (maximální průměr částic 0,25 mm). Z automatické pipety se přidá 10 ml chromsírové směsi, zakryje obráceným hodinovým sklem a obsah se mírným krouživým pohybem promíchá. Současně se do 2 až 3 kádinek odměří po 10 ml chromsírové směsi pro stanovení faktoru Mohrovy soli (slepé vzorky). Všechny kádinky se vloží na 45 minut do sušárny, vyhřáté na 125 °C. Po vyjmutí ze sušárny se opláchne hodinové sklo a stěny kádinky ze stříčky destilovanou vodou.

Následuje potenciometrická titrace do mrtvého bodu. Do systému se pustí elektrický proud a titruje se Mohrovou solí do mrtvého bodu, tj. až se objeví trvalá výchylka ručičky na ukazateli. Reakce je doprovázena změnou barvy směsi z oranžové až na modrozelenou. Odečteme spotřebu Mohrovy soli v ml (Zbiral et al., 2004).

Stanovení byla provedena ve dvojnásobném opakování. Pro hodnocení výsledků se používají kritéria z tabulky 13.

Tabulka 13: Kriteria pro vyhodnocení výsledků (Valla et al., 2006)

C_{ox} (%)	Humus (%)	Označení obsahu
< 0,6	< 1	velmi nízký
0,6 – 1,1	1,0 – 2,0	nízký
1,1 – 1,7	2,0 – 3,0	střední
1,7 – 2,9	3,0 – 5,0	vysoký
> 2,9	> 5,0	velmi vysoký

4.4.5 Stanovení kvality humusu spektrofotometricky

Naváží se 2 g vzorku do 100 ml PE lahve. Přidá se 40 ml 0,05M Na₄P₂O₇. Třepe se 45 minut na třepačce. Suspenze se přelije do centrifugací kyvety a odstředí se na centrifuze. Supernatant se přelije do zkumavky, pokud je roztok tmavý, naředí se Na₄P₂O₇, aby byla absorbance při 400 nm menší než 1.

Následuje spektrofotometrické měření. Srovnávacím roztokem je čistý roztok 0,05M Na₄P₂O₇. Jeho proměřením před měřením vzorků se získá základní čára (baseline). Malá část roztoku se přelije do kyvety spektrofotometru, otřou se stěny a vloží se do spektrofotometru. Po proměření se zapíše absorbance při 400 a 600 nm. Vypočítají se hodnoty barevného kvocientu Q_{4/6}, který udává poměr absorbancí 400 a 600 nm. Byla zjištěna závislost mezi barevným kvocientem Q_{4/6} a poměrem huminových kyselin k fulvokyselinám.

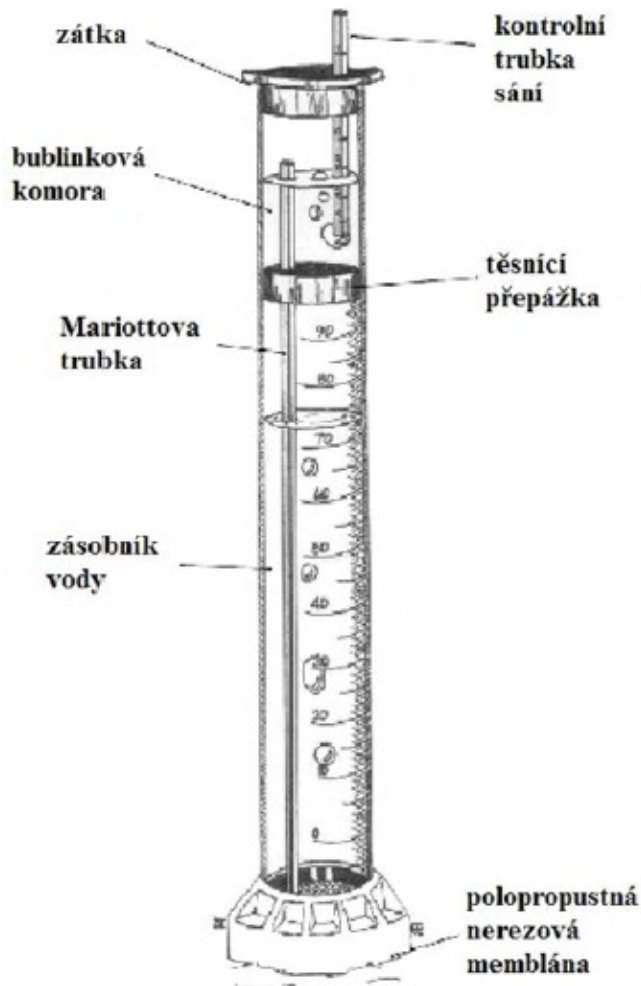
Vyšší hodnota barevného kvocientu udává nižší kvalitu humusu a nižší poměr huminových kyselin k fulvokyselinám. Jakousi dohodnutou hranicí mezi kvalitním a nekvalitním humusem je hodnota Q_{4/6} okolo 4.

Stanovení bylo provedeno ve čtyřech opakováních.

4.5 Měření infiltrace

Infiltrace se měřila Mini Disk Infiltrometrem (obrázek 13). Tento infiltrometr je velice jednoduchý a malý s nízkou náročností na obsluhu. Výhodou tohoto infiltrometru je jeho malá spotřeba vody a obsluha jedním člověkem. Infiltrometr se skládá z polykarbonátové trubky o průměru 31 mm a výšce 327 mm, která je rozdělena na dvě části. Obě části se plní vodou. Vrchní část zvaná bublinová komora slouží pro nastavení sání vzduchu. Voda naplněná do

spodní části se přes polopropustnou nerezovou membránu na dně trubky o průměru 45 mm infiltruje do půdy. Sací výšku lze měnit podle půdního druhu posunutím kontrolní trubky sání, na které je stupnice. Na polykarbonátové trubce infiltrometru je také stupnice, ze které se odečítá hodnota objemu vody v ml. Naměřená data se přepíše do počítače k dalšímu zpracování.



Obrázek 13: Mini Disk Infiltrometr (Šindelář et al., 2008)

Na vybraném místě pozemku se důkladně připraví plochy na infiltrometry. Plochy musí být rovné, bez půdních prasklin a rostlinných zbytků, aby celá plocha membrány byla ve styku s povrchem půdy. Infiltrometry naplněné vodou se postaví na připravené plochy půdy. Nastaví se hodnota sací výšky (-2 cm) posunutím kontrolní trubky sání podle půdního druhu. Na připravených stopkách se měří čas a zapisují se odečtené hodnoty ze stupnice v ml. Naměřené hodnoty se graficky vyjádří v grafu, který vyjadřuje závislost rychlosti infiltrace vody na čase.

4.6 Vyhodnocení výsledků

Data byla zpracována pomocí programu Microsoft Excel 2007, Statgraphics Centurion XV. a Statistika 7. Teoretických podkladů bylo čerpáno z Brabence et al. (2003).

5. VÝSLEDKY A DISKUSE

5.1 Základní statistika

Základní statistické údaje vybraných půdních vlastností pro všechny tři lokality jsou uvedené v tabulkách 14, 15 a 16. Základní statistické údaje hydrofyzikálních vlastností pro všechny tři lokality jsou uvedené v tabulkách 17, 18 a 19.

Výsledky měření jsou uvedeny v příloze 1.

Tabulka 14: Základní statistické parametry sledovaných půdních vlastností na lokalitě Humpolec

rok 2007	pH_{H2O}	pH_{KCl}	obsah humusu (%)	Q_{4/6}	WSA
průměr	5,84	5,01	2,49	4,53	0,57
minimum	5,37	4,74	2,10	3,80	0,48
maximum	6,12	5,53	2,76	4,90	0,70
rozsah	0,75	0,79	0,66	1,10	0,22
rozptyl	0,09	0,09	0,06	0,18	0,01
sm.odch.	0,30	0,31	0,24	0,42	0,08
rok 2008					
průměr	5,67	5,05	2,78	4,99	0,47
minimum	5,41	4,86	2,47	4,64	0,39
maximum	6,14	5,33	3,03	5,32	0,52
rozsah	0,73	0,47	0,56	0,68	0,14
rozptyl	0,08	0,04	0,04	0,05	0,01
sm.odch.	0,28	0,19	0,21	0,22	0,05

Z tabulky 14 je patrné, že průměrná hodnota pH_{H2O} byla vyšší v prvním roce. Hodnota pH_{H2O} nám udává, že se jedná o půdu kyselou. Naopak obsah humusu se v druhém roce zvýšil. Jeho hodnota se pohybuje v rozmezí 2,5 – 3,0 %, což znamená, že obsah humusu je střední. Pokud jde o kvalitu humusu, tak je vidět, že na lokalitě Humpolec byl humus méně kvalitní, protože hodnota Q_{4/6} je vyšší než 4. V druhém roce byla jeho kvalita ještě nižší než v prvním roce. Hodnota pH_{KCl} se v podstatě během dvou let odběru nezměnila. Stabilita

agregátů byla v prvním roce na lokalitě Humpolec vyšší. Celková stabilita agregátů za období dvou let byla nižší.

Tabulka 15: Základní statistické parametry sledovaných půdních vlastností na lokalitě Čáslav

rok 2007	pH_{H2O}	pH_{KCl}	obsah humusu (%)	Q_{4/6}	WSA
průměr	7,67	7,18	2,26	3,74	0,59
minimum	7,33	7,05	1,97	3,00	0,43
maximum	7,97	7,32	2,53	4,23	0,70
rozsah	0,64	0,27	0,56	1,23	0,28
rozptyl	0,07	0,01	0,03	0,19	0,01
sm.odch.	0,27	0,12	0,19	0,44	0,11
rok 2008					
průměr	7,57	7,27	2,07	3,67	0,46
minimum	7,30	7,16	1,89	3,43	0,30
maximum	7,95	7,36	2,33	3,85	0,54
rozsah	0,65	0,20	0,44	0,42	0,23
rozptyl	0,05	0,01	0,02	0,03	0,01
sm.odch.	0,23	0,08	0,15	0,17	0,09

Z tabulky 15 je patrné, že pH_{H2O} se v druhém roce snížilo, naopak pH_{KCl} se v druhém roce nepatrně zvýšilo. Celkově se jedná o půdu slabě alkalickou. Obsah humusu byl vyšší v prvním roce. Celkově byl obsah humusu nižší než na lokalitě Humpolec, ale pořád spadá do střední kategorie. Kvalita humusu je v lokalitě Čáslav lepší než v Humpolci. Stabilita agregátů se v druhém roce snížila. Stejně jako na lokalitě Humpolec je i zde stabilita agregátů spíše nižší.

Tabulka 16: Základní statistické parametry sledovaných půdních vlastností na lokalitě Hněvčeves

rok 2007	pH_{H2O}	pH_{KCl}	obsah humusu (%)	Q_{4/6}	WSA
průměr	6,46	5,72	1,84	3,92	0,45
minimum	6,13	5,33	1,71	3,78	0,29
maximum	6,87	6,45	2,05	4,05	0,59
rozsah	0,74	1,12	0,34	0,27	0,31
rozptyl	0,07	0,21	0,02	0,01	0,01
sm.odch.	0,26	0,45	0,14	0,11	0,12
rok 2008					
průměr	6,68	6,21	1,72	3,90	0,44
minimum	6,57	6,03	1,61	3,80	0,36
maximum	6,93	6,40	1,87	4,05	0,52
rozsah	0,36	0,37	0,26	0,26	0,16
rozptyl	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
sm.odch.	0,13	0,15	0,11	0,10	0,05

Z tabulky 16 je vidět, že hodnoty pH_{H_2O} a pH_{KCl} se v jednotlivých letech liší. Obě hodnoty byly vyšší v roce 2008. Celkově se jedná o půdu slabě kyselou. Obsah humusu byl nižší v druhém roce. Celkově je zde obsah humusu nejnižší (1,6 až 2,0 %) ze všech tří studovaných lokalit. Spadá do kategorie nízký obsah. Kvalita humusu se během dvou let nezměnila, ale je opět vyšší v této lokalitě než v Humpolci, ale naopak horší než v Čáslavi. Stabilita agregátů byla v obou letech stejná. Je zde nejnižší stabilita agregátů ze všech tří lokalit.

Tabulka 17: Základní statistické parametry sledovaných hydrofyzikálních vlastností na lokalitě Humpolec

rok 2007	θ_{mom} (%)	θ_{ns} (%)	θ_{30} (%)	θ_{MKK} (%)	θ_{RVK} (%)	ρ_d (g.cm ⁻³)	P (%)	P _k (%)	P _n (%)	V _z (%)	K _{MKKVz} (%)	K _{RVKVz} (%)
průměr	23,88	38,07	35,71	34,07	29,06	1,53	40,82	29,13	5,11	16,94	6,75	11,76
minimum	13,00	31,37	29,07	27,03	23,27	1,45	38,48	23,27	1,05	4,54	2,23	5,43
maximum	34,82	43,32	39,92	38,29	33,92	1,59	43,65	33,92	9,41	28,44	11,51	17,75
rozsah	21,82	11,95	10,85	11,26	10,65	0,13	5,17	10,65	8,36	23,91	9,28	12,32
rozptyl	81,09	17,94	18,89	21,54	20,34	0,01	3,32	20,34	13,47	88,39	16,53	18,89
sm.odch.	9,01	4,24	4,35	4,64	4,51	0,05	1,82	4,51	3,67	9,40	4,07	4,35
rok 2008												
průměr	32,10	42,43	40,90	39,90	35,03	1,47	43,55	35,03	2,66	11,46	3,65	8,52
minimum	24,01	38,76	36,95	36,18	30,77	1,39	38,57	30,77	1,52	5,38	2,35	6,85
maximum	39,81	44,00	42,97	42,04	38,35	1,60	46,75	38,35	3,78	17,22	4,73	10,11
rozsah	15,80	5,24	6,02	5,86	7,58	0,21	8,18	7,58	2,26	11,84	2,39	3,26
rozptyl	41,12	3,69	4,73	4,92	7,37	0,01	7,63	7,37	0,88	20,84	1,26	2,36
sm.odch.	6,41	1,92	2,17	2,22	2,71	0,07	2,76	2,71	0,94	4,57	1,12	1,54

Tabulka 18: Základní statistické parametry sledovaných hydrofyzikálních vlastností na lokalitě Čáslav

rok 2007	θ_{mom} (%)	θ_{ns} (%)	θ_{30} (%)	θ_{MKK} (%)	θ_{RVK} (%)	ρ_d (g.cm ⁻³)	P (%)	P _k (%)	P _n (%)	V _z (%)	K _{MKKVz} (%)	K _{RVKVz} (%)
průměr	22,78	36,19	33,19	31,05	26,07	1,51	40,51	26,07	7,32	17,73	9,46	14,44
minimum	12,98	29,46	27,70	25,55	21,57	1,31	33,30	21,58	0,44	3,52	0,89	3,30
maximum	29,78	43,19	38,34	35,73	30,00	1,69	48,39	30,00	12,53	30,28	16,45	22,78
rozsah	16,80	13,73	10,64	10,18	8,43	0,38	15,09	8,42	12,09	26,76	15,56	19,48
rozptyl	36,04	23,93	13,23	11,35	9,63	0,02	28,89	9,61	17,78	99,60	28,27	43,20
sm.odch.	6,00	4,89	3,64	3,37	3,10	0,14	5,37	3,10	4,22	9,98	5,32	6,57
rok 2008												
průměr	28,25	36,08	34,70	33,61	29,24	1,59	38,19	29,24	3,48	9,93	4,58	8,95
minimum	21,39	32,37	30,34	29,38	23,88	1,56	34,91	23,88	2,04	4,63	2,87	6,40
maximum	35,04	38,55	37,63	36,77	32,72	1,68	39,67	32,72	4,57	13,60	6,13	11,03
rozsah	13,65	6,18	7,28	7,39	8,84	0,12	4,76	8,84	2,52	8,97	3,26	4,62
rozptyl	24,10	4,80	5,81	5,95	9,40	0,01	3,09	9,40	1,15	16,13	1,91	4,08
sm.odch.	4,91	2,19	2,41	2,44	3,07	0,05	1,76	3,07	1,07	4,02	1,38	2,02

Tabulka 19: Základní statistické parametry sledovaných hydrofyzikálních vlastností na lokalitě Hněvčeves

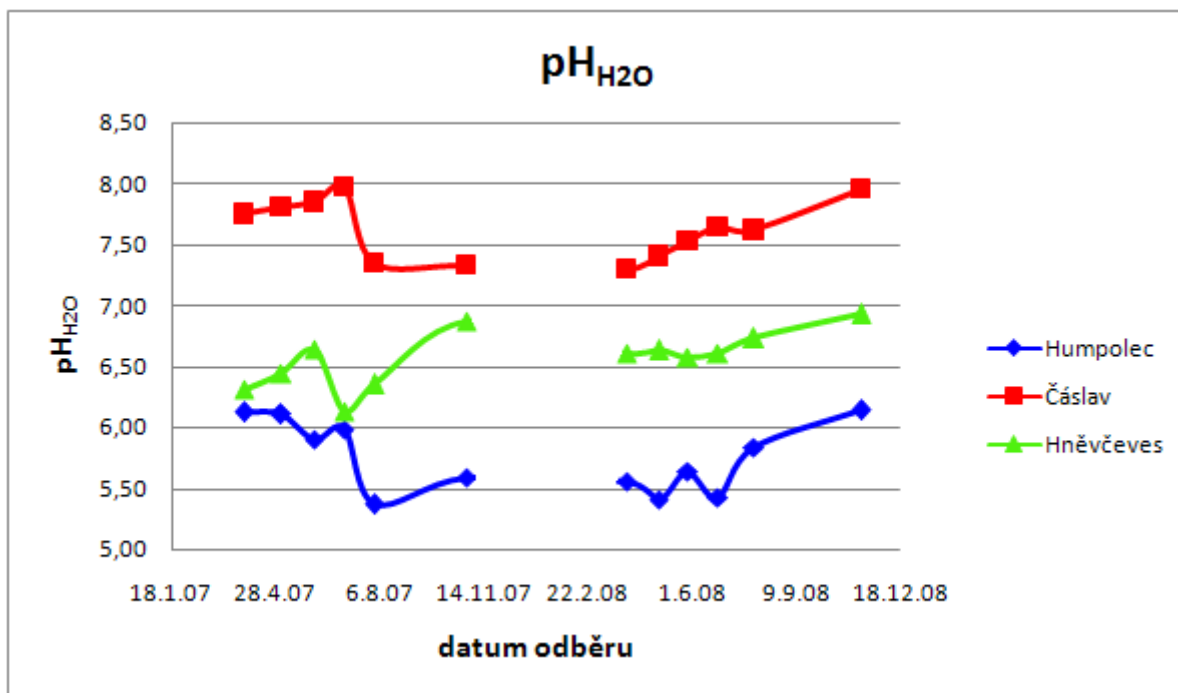
rok 2007	θ_{mom} (%)	θ_{ns} (%)	θ_{30} (%)	θ_{MKK} (%)	θ_{RVK} (%)	ρ_d (g.cm ⁻³)	P (%)	P_k (%)	P_n (%)	V_z (%)	K_{MKKVz} (%)	K_{RVKVz} (%)
průměr	24,82	33,27	31,83	30,91	27,88	1,59	37,78	27,88	5,95	12,96	6,86	9,89
minimum	14,76	28,17	26,96	25,29	22,60	1,52	36,24	22,60	2,17	5,78	3,12	5,90
maximum	30,93	36,51	35,79	34,54	30,81	1,63	40,45	30,81	10,21	23,52	10,95	13,79
rozsah	16,17	8,35	8,83	9,25	8,21	0,11	4,21	8,21	8,04	17,74	7,84	7,88
rozptyl	29,19	12,61	13,18	13,85	12,37	0,01	2,49	12,37	9,78	37,55	10,32	10,22
sm.odch.	5,40	3,55	3,63	3,72	3,52	0,04	1,58	3,52	3,13	6,13	3,21	3,20
rok 2008												
průměr	25,34	38,99	36,27	34,37	28,62	1,45	44,08	28,62	7,81	18,74	9,71	15,46
minimum	20,80	36,63	33,52	31,91	25,60	1,30	41,99	25,60	5,25	12,39	7,06	11,31
maximum	30,01	41,23	38,13	35,71	31,10	1,51	50,08	31,10	11,95	23,14	14,37	21,14
rozsah	9,21	4,60	4,61	3,81	5,50	0,21	8,09	5,50	6,69	10,75	7,31	9,83
rozptyl	13,09	3,42	2,93	2,40	3,52	0,01	9,65	3,52	5,92	18,41	7,30	12,32
sm.odch.	3,62	1,85	1,71	1,55	1,88	0,08	3,11	1,88	2,43	4,29	2,70	3,51

Z tabulky 17, 18 a 19 je patrné, že vlhkostní charakteristiky, vzdušné charakteristiky i charakteristiky pórovitosti byly velmi variabilní. Když se podíváme na maximální a minimální hodnoty, tak je vidět, že se hodnoty během obou let hodně měnily. Hodnoty jednotlivých charakteristik byly určitě ovlivněny klimatickými podmínkami v době odběru.

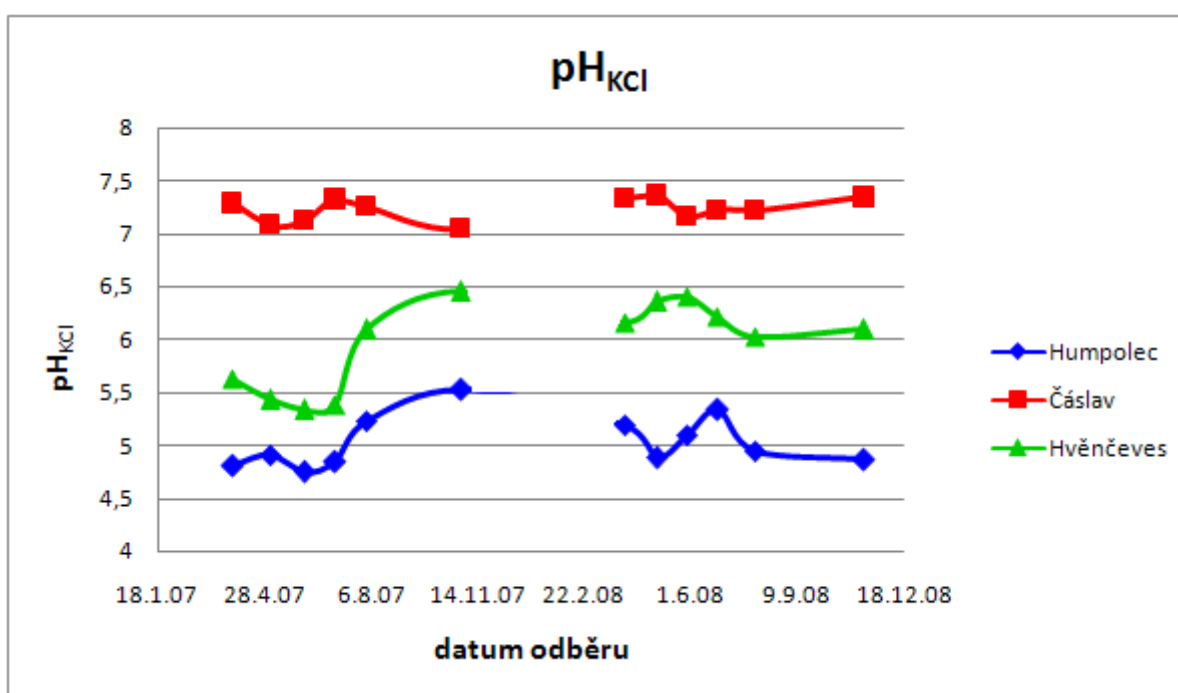
Jediné co se výrazně neměnilo během roku, byla objemová hmotnost ρ_d . Její hodnota se pohybuje v rozmezí od 1,30 do 1,60 g.cm⁻³.

5.2 Výsledná sezónní variabilita vybraných půdních vlastností, stability agregátů a hydrofyzikálních vlastností

Na obrázcích 14, 15, 16, 17 a 18 jsou graficky zobrazeny průběhy vybraných půdních vlastností ve 12 odběrech na třech námi vybraných lokalitách. U variability hydrofyzikálních vlastností byl vypočten průměr z 10 opakování a toto je graficky zobrazeno na obrázcích 19 - 30 ve 12 odběrech na třech lokalitách. Odběry v roce 2007 jsou na grafech od odběrů v roce 2008 odděleny mezerou.

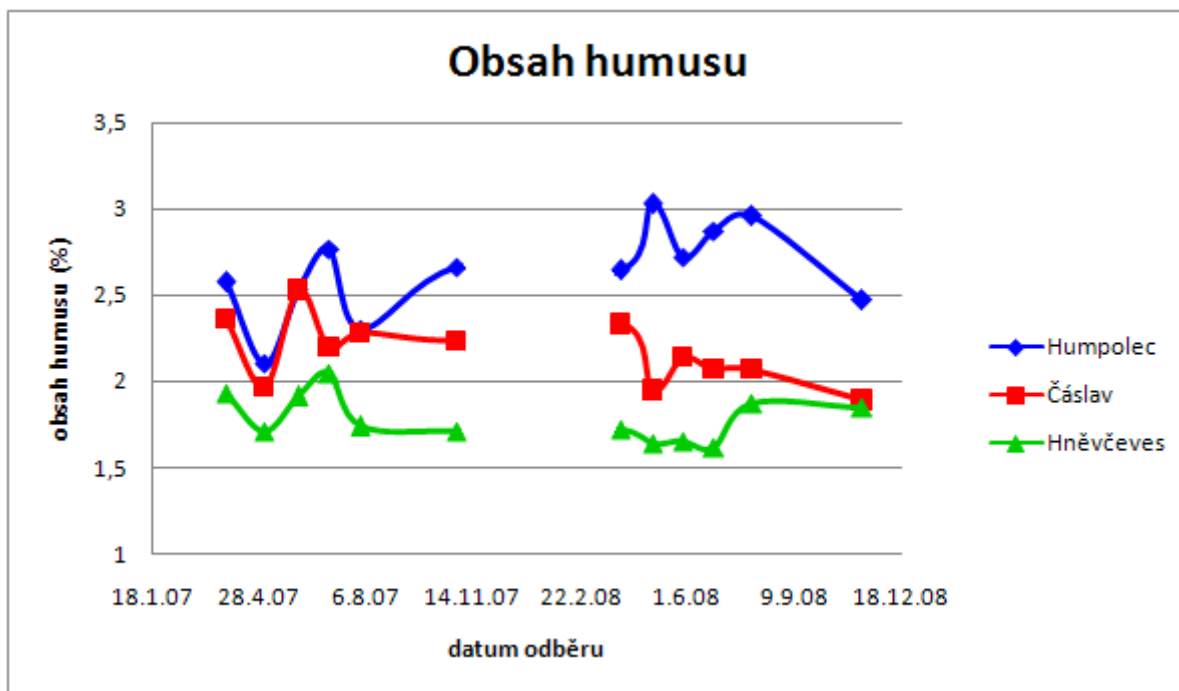


Obrázek 14: Sezónní variabilita pH_{H_2O}

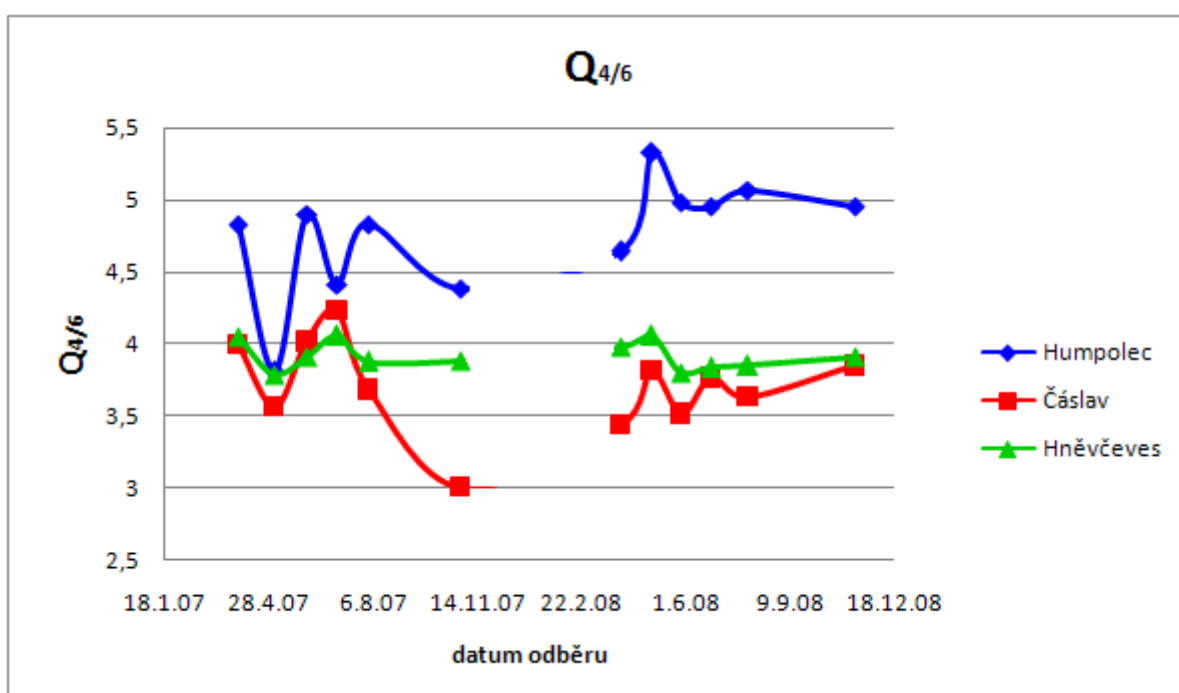


Obrázek 15: Sezónní variabilita pH_{KCl}

Z obrázků 14 a 15 je vidět, že nejvyšší pH bylo na lokalitě Čáslav. Hodnoty pH_{H_2O} se ve druhém roce u všech lokalit zvýšily průměrně o půl stupně. U pH_{KCl} není patrný žádný významný vývojový trend u lokality Čáslav. Pokud jde o Humpolec a Hněvčeves tak v prvním roce byly hodnoty pH_{KCl} nižší na začátku odběru a postupně se zvyšovaly. Ve druhém roce hodnoty oscilovaly také na začátku odběru a poté se ustálily.



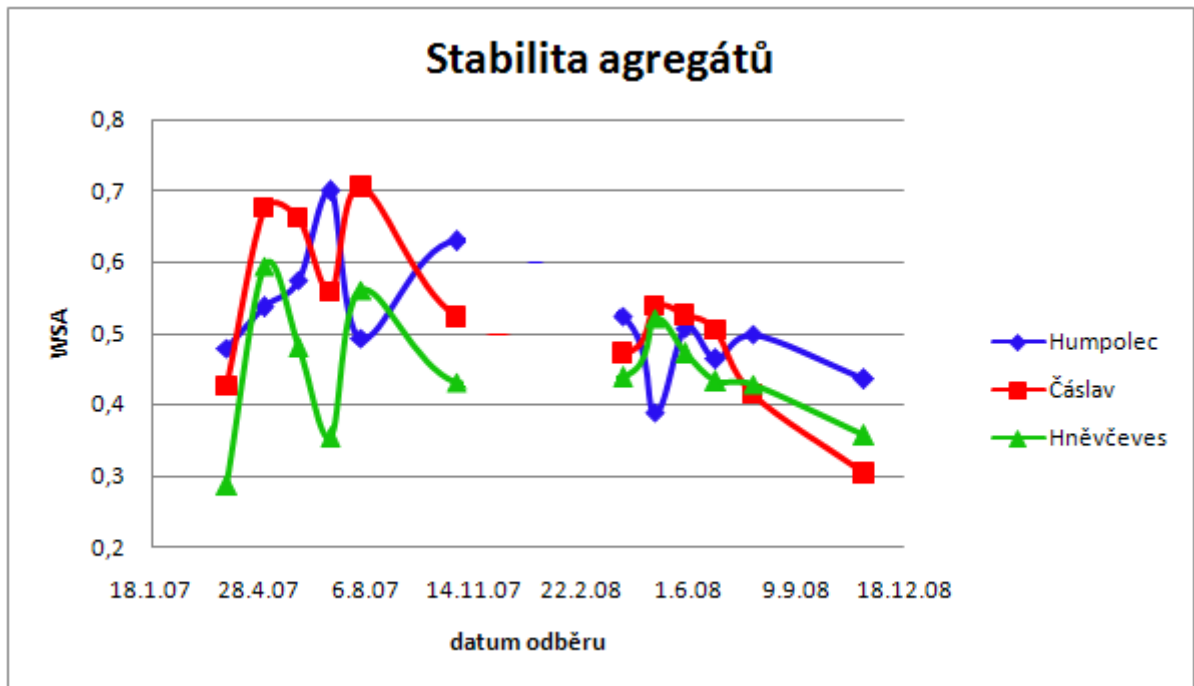
Obrázek 16: Sezónní variabilita obsahu humusu



Obrázek 17: Sezónní variabilita kvality humusu

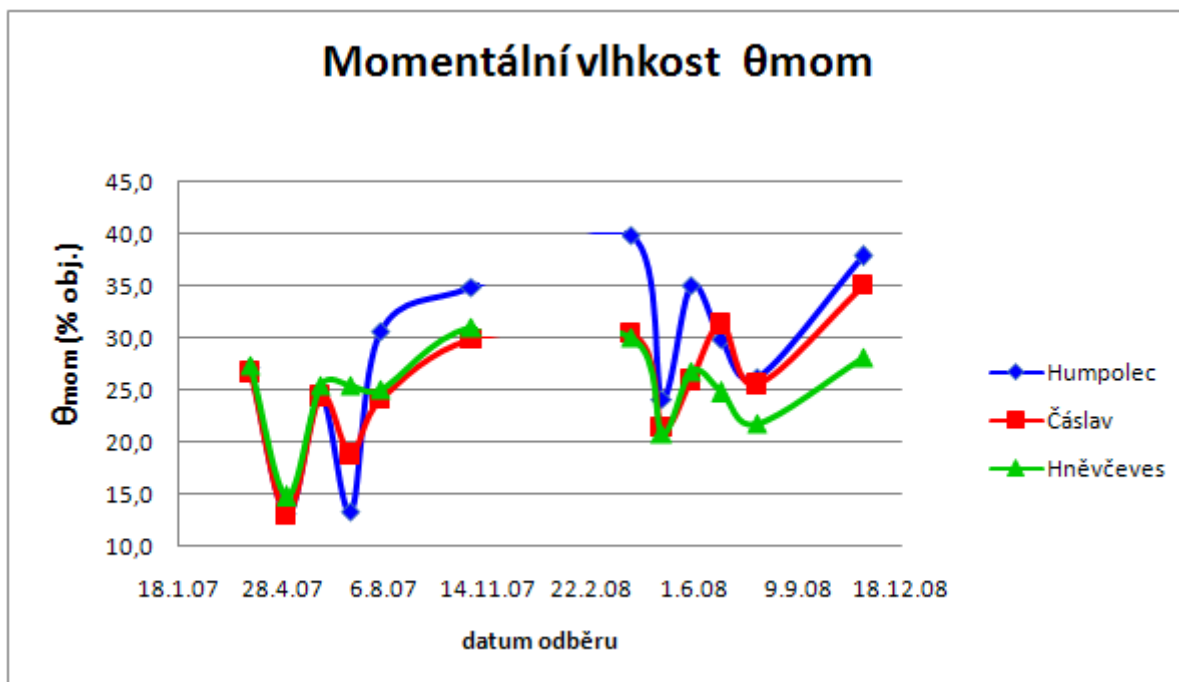
Z obrázků 16 a 17 je vidět, že vývojový trend byl u všech lokalit stejný. Nejvyšších hodnot dosahuje lokalita Humpolec. Hodnoty obsahu a kvality humusu se změnily na začátku vegetačního období a na konci vegetačního období. V dubnu se hodnoty zvýšily, protože došlo ke zvýšení teplot, zvýšila se mikrobiální aktivita, zvětšoval se kořenový systém.

Naopak v srpnu se hodnoty začaly snižovat, neboť proběhla orba. S orbou se zvyšuje mineralizace organické hmoty a dochází k jejím ztrátám (Cambardella, 2002). Hodnoty obsahu a kvality humusu byly v letních měsících nejvyšší.

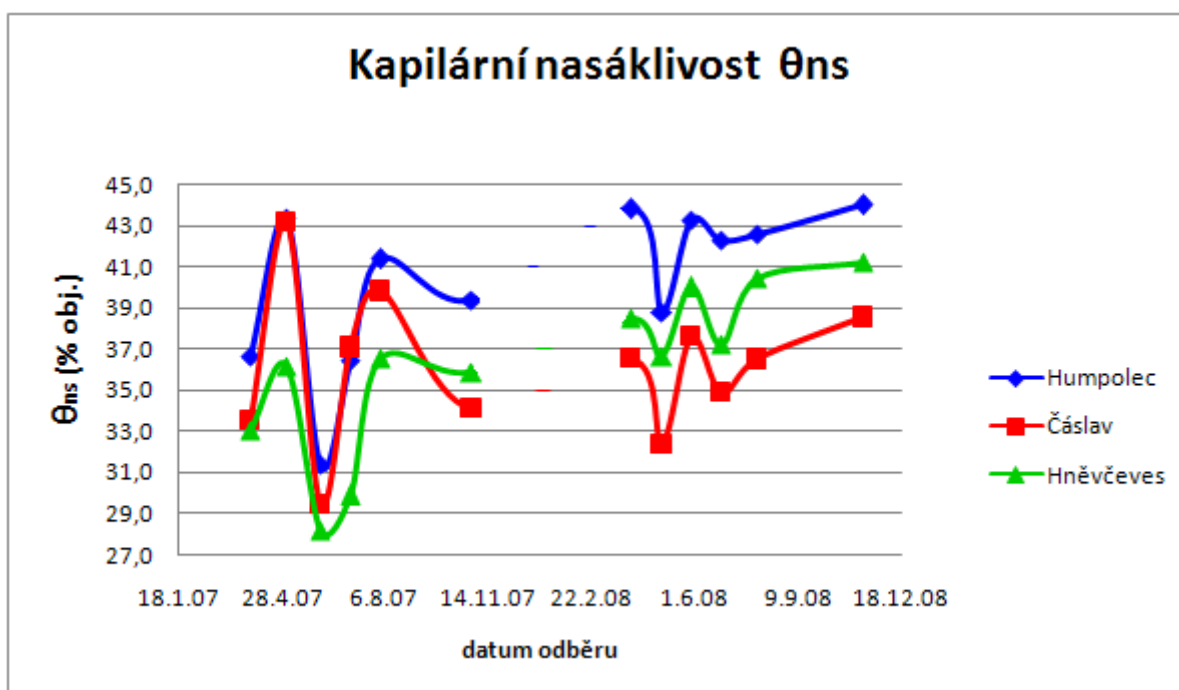


Obrázek 18: Sezónní variabilita stability agregátů

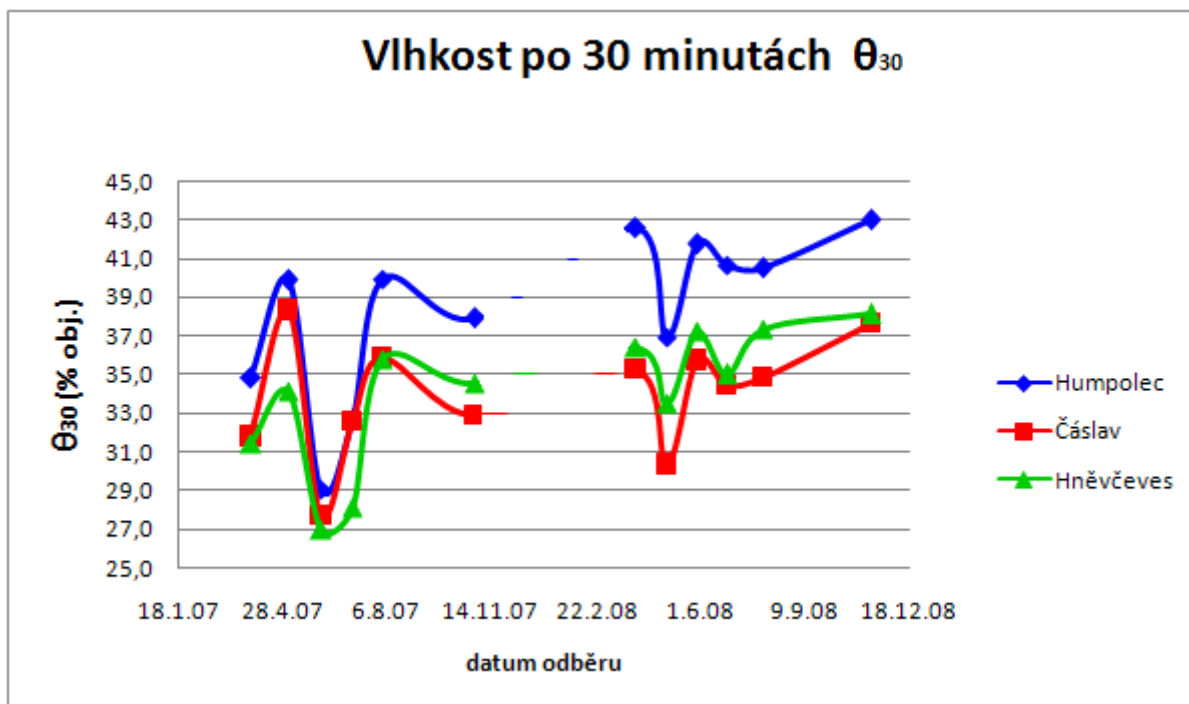
Obrázek 18 znázorňuje vývoj stability agregátů. Na lokalitách Čáslav a Hněvčeves je vývojový trend stejný. Na začátku odběru se stabilita zvyšovala, v červnu klesala, v srpnu opět stoupala a na podzim opět klesla. Pokud jde o Humpolec, tak se trend rozchází. Je to dáno tím, že lokalita Humpolec se nachází na vrchovině. Vývoj stability agregátů je o měsíc posunutý. Z grafu je vidět, že na podzim se stabilita agregátů v prvním i druhém roce snížila. Toto může být ovlivněno zemědělským obděláváním – sklizeň, orba. Chan et al.(1994) zjistil, že nejnižší stabilita půdy je během podzimu a zimy, což se potvrdilo u i našich výsledků na všech lokalitách.



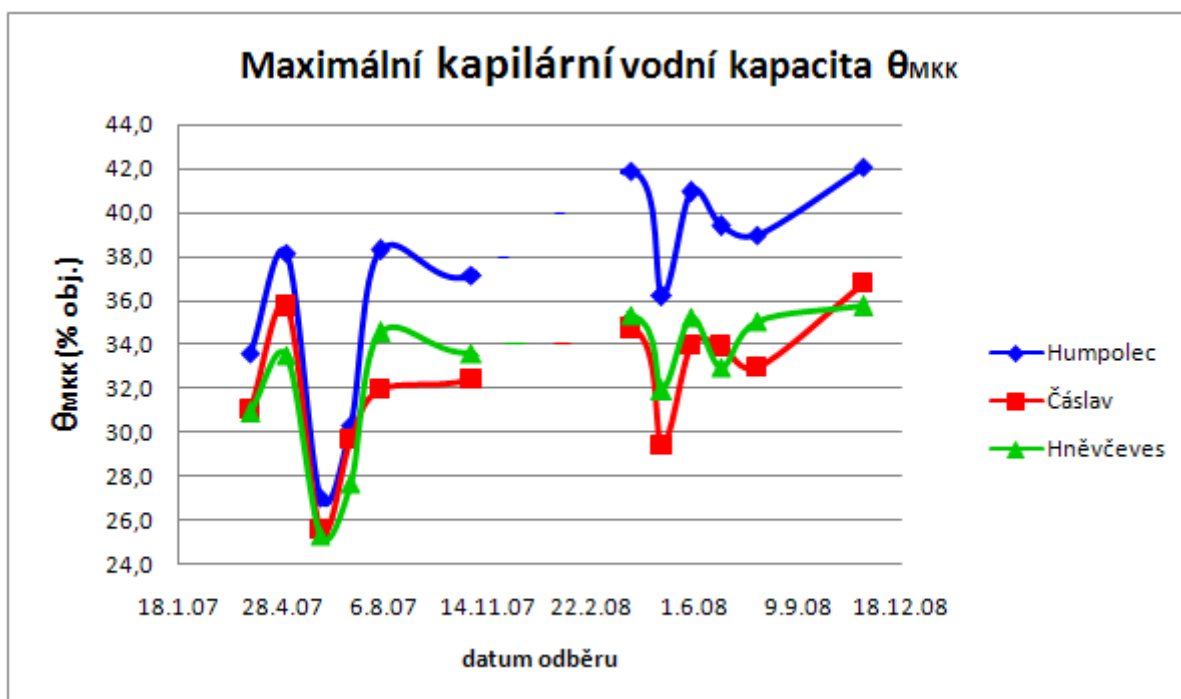
Obrázek 19: Sezónní variabilita momentální vlhkosti



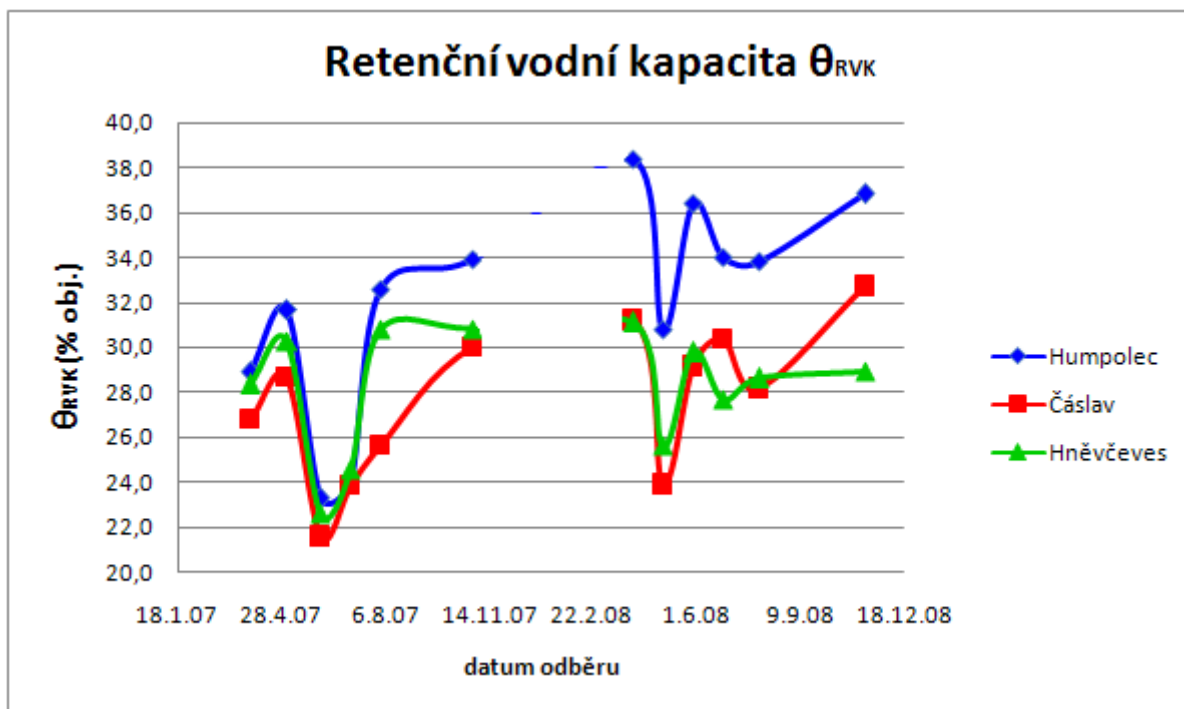
Obrázek 20: Sezónní variabilita kapilární nasáklivosti



Obrázek 21: Sezónní variabilita vlhkosti po 30 minutách



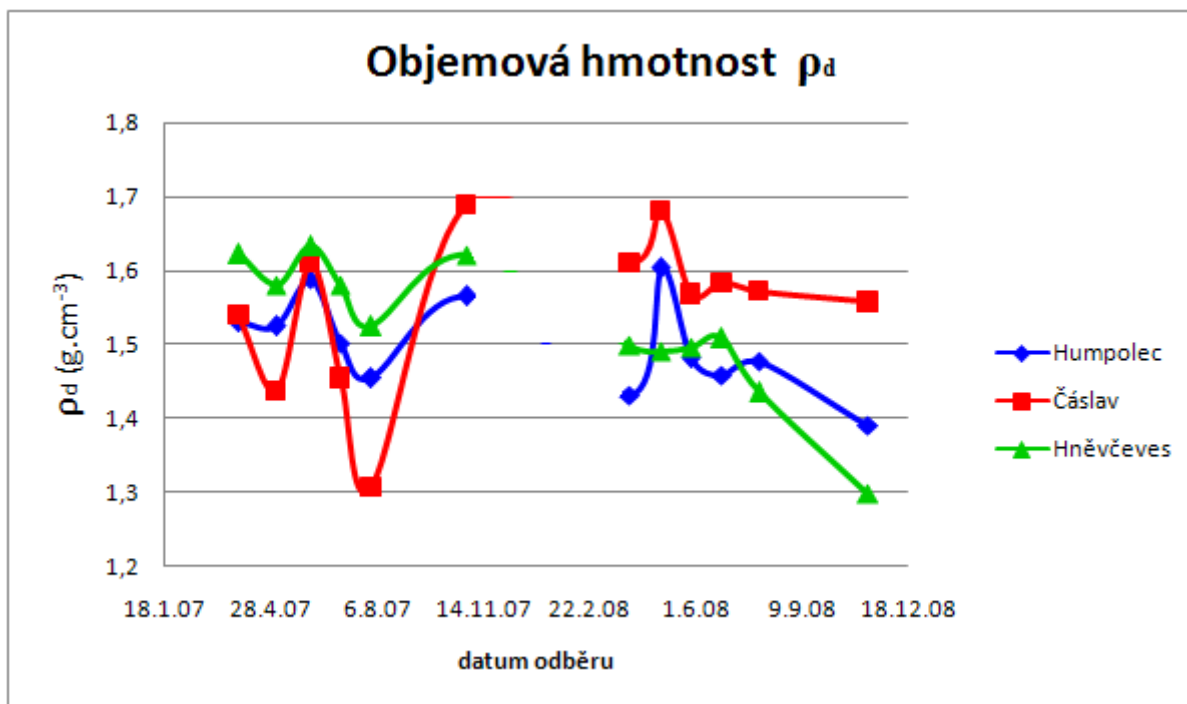
Obrázek 22: Sezónní variabilita maximální kapilární vodní kapacity



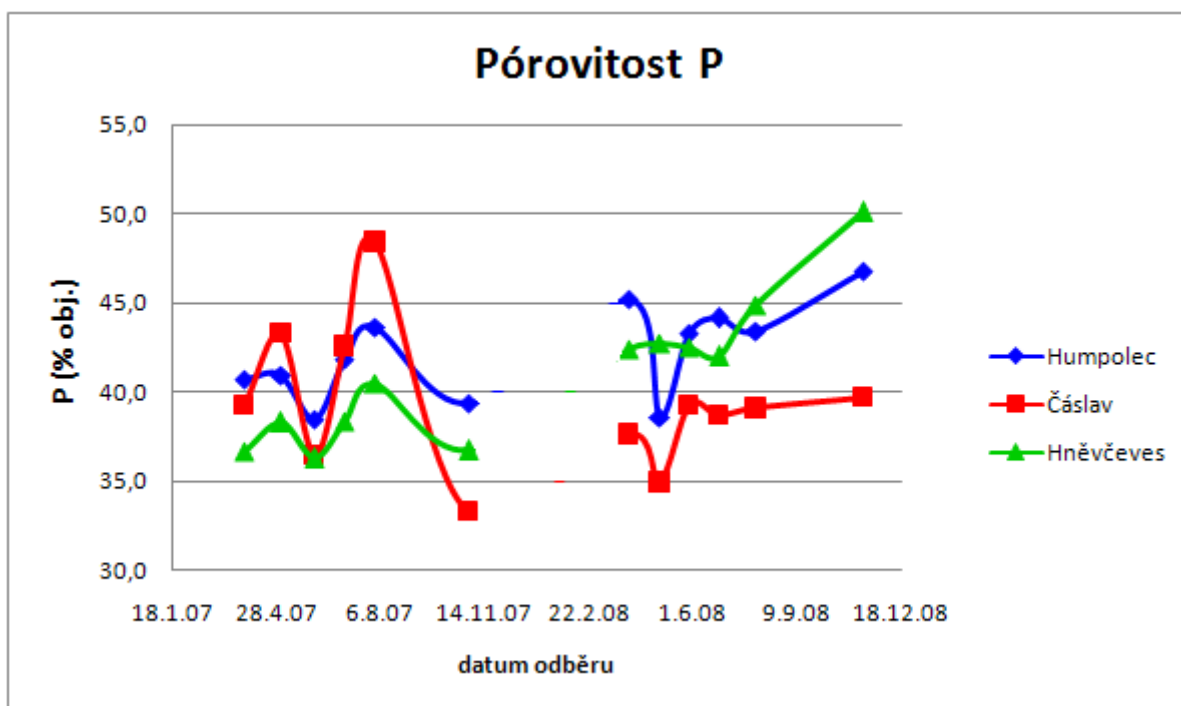
Obrázek 23: Sezónní variabilita retenční vodní kapacity

Na obrázcích 19 - 23 jsou uvedeny vlhkostní charakteristiky. Z grafů je vidět, že se zde vyskytuje časová variabilita. Vývojový trend momentální vlhkosti je u všech lokalit stejný v obou letech. Na začátku odběru se hodnoty snižovaly, v květnu se zvýšily, v červnu se opět snížily. Nejvyšších hodnot momentální vlhkost dosahovala při posledním odběru. Hodnoty momentální vlhkosti jsou ovlivněny klimatickými podmínkami v době odběru.

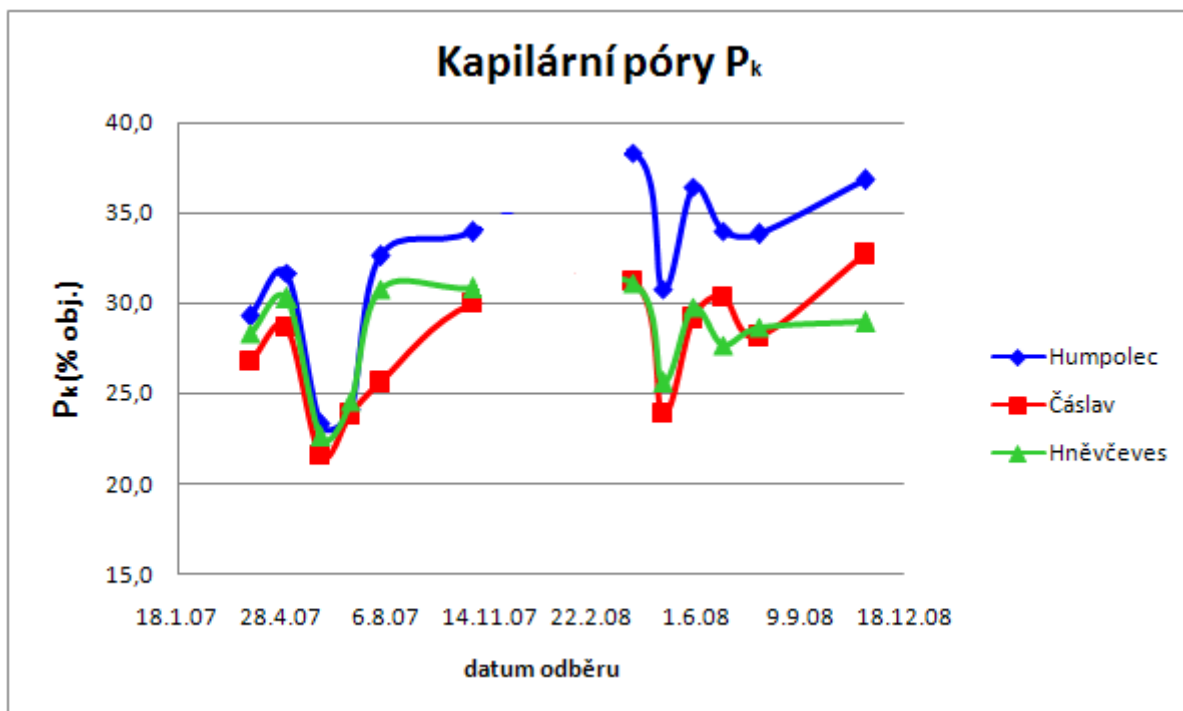
Pokud jde o kapilární nasáklivost, vlhkost po 30 minutách, maximální kapilární vodní kapacitu a retenční vodní kapacitu (obrázky 20 – 23) tak vývojový trend je opět u všech lokalit stejný. V prvním i druhém roce se hodnoty vlhkostních charakteristik snížily v měsíci dubnu a květnu. Toto mohlo být ovlivněno minimálními srážkami (obzvláště v roce 2007). V půdě byla malá zásoba vody. V srpnu a září se hodnoty zvyšovaly, neboť v těchto měsících byly největší srážky (viz obrázky 4, 6 a 8). Ty vedly k přirozenému utužení půdy a snížení obsahu nekapilárních pórů a zvýšení obsahu kapilárních pórů. To je důvodem vyššího obsahu vody. Z obrázků 20 - 23 je patrné, že vlhkostní charakteristiky oscilují stejně. V prvním roce dokonce dosahují přibližně stejných hodnot všechny lokality. Pouze ve druhém roce byly celkové hodnoty vyšší na lokalitě Humpolec.



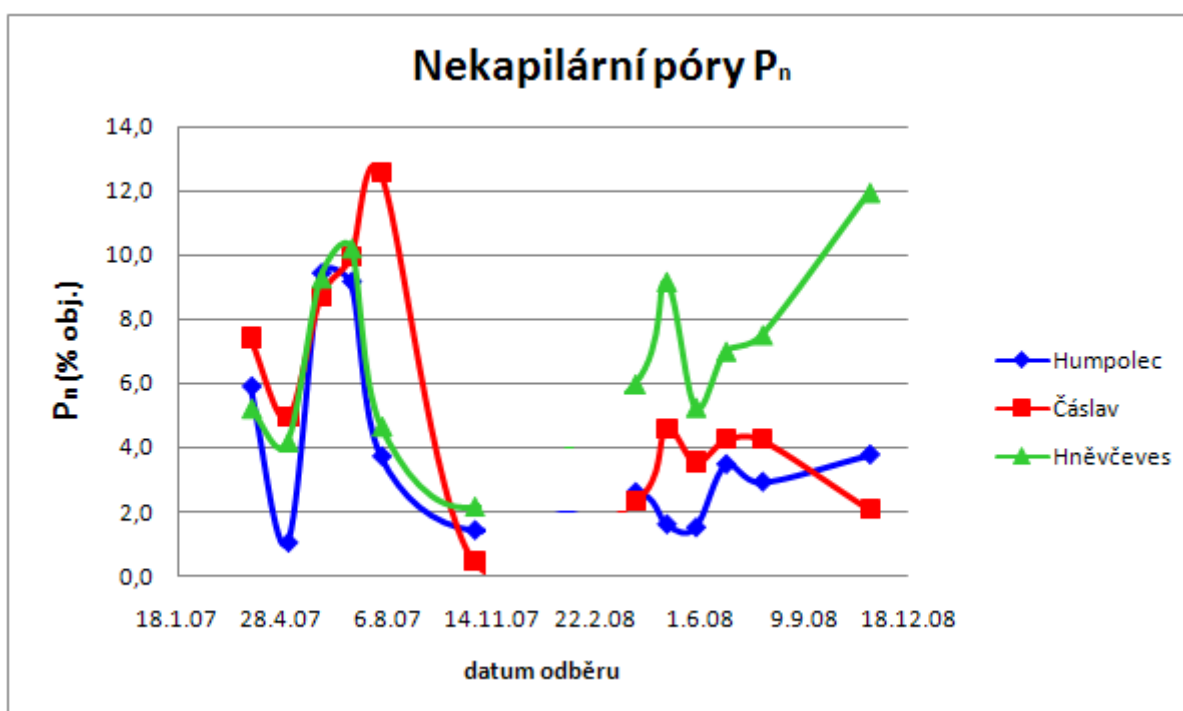
Obrázek 24: Sezónní variabilita objemové hmotnosti půdy



Obrázek 25: Sezónní variabilita pórovitosti



Obrázek 26: Sezónní variabilita kapilárních pórů

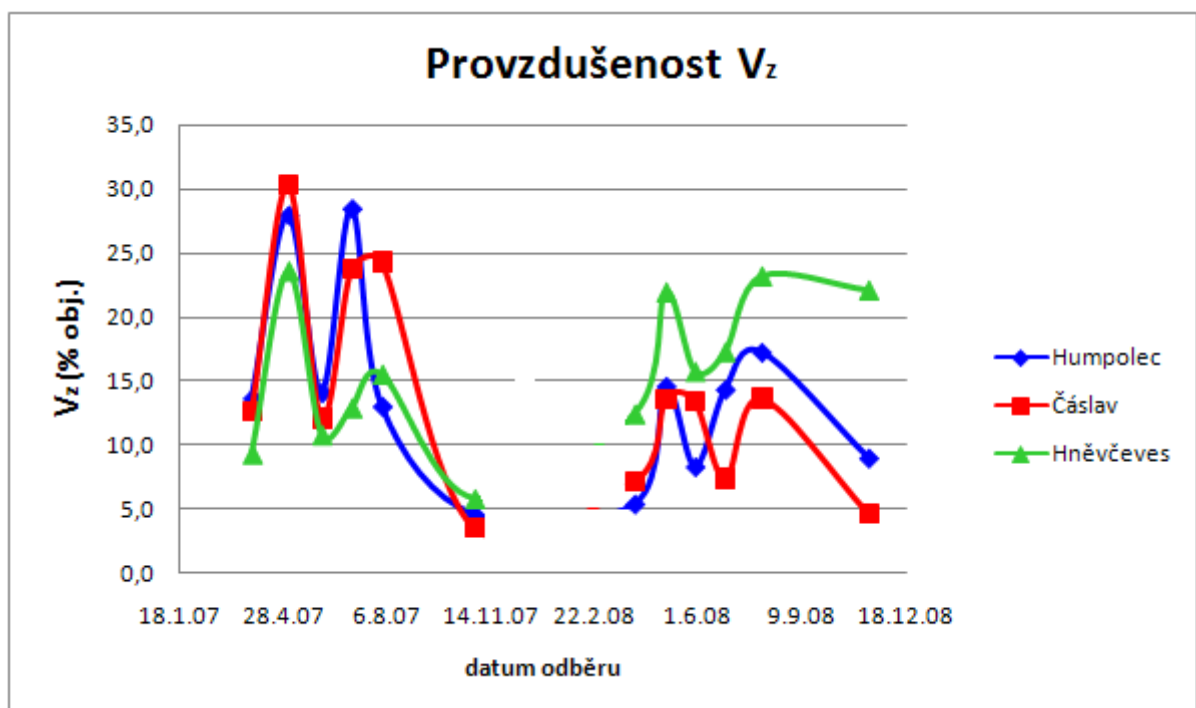


Obrázek 27: Sezónní variabilita nekapilárních pórů

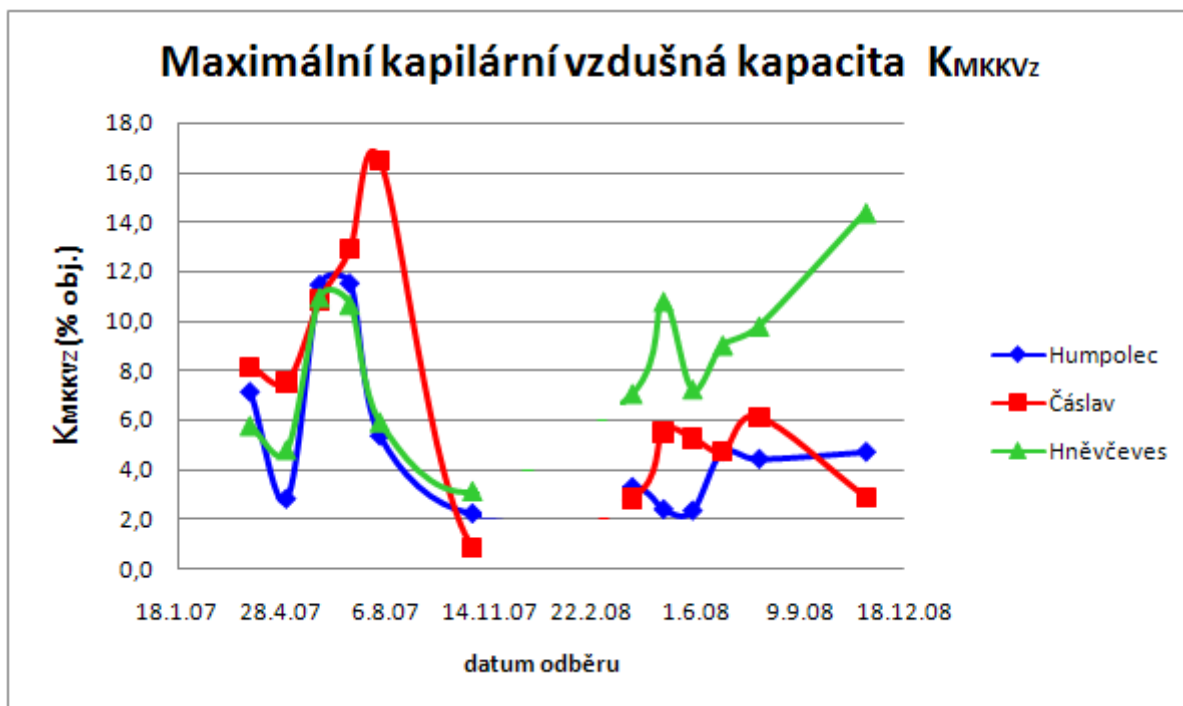
Objemová hmotnost a pórovitost půdy určují stav ulehlosti půdy. Z obrázků 24 a 25 je vidět jak spolu obě vlastnosti souvisí. Celková pórovitost odpovídá hodnotám objemové hmotnosti, přičemž čím byla vyšší objemová hmotnost, tím byla nižší pórovitost a naopak (Frouz et al., 2003). Vývojový trend je u všech lokalit stejný. Pórovitost se začala zvyšovat v prvním roce u všech lokalit v měsíci květnu a červnu pravděpodobně vlivem intenzivního rozrůstání kořenového systému pšenice ozimé, která byla na experimentálním území vyseta. Dále se pórovitost zvyšovala i v měsíci srpnu a září v důsledku orby, která půdu nakypřila. Poté se pórovitost snižovala pravděpodobně přirozeným uléháním půdy. Nejnižší pórovitost byla u posledního odběru po sklizni.

Při nejvyšší pórovitosti lze z obrázku 27 vyčíst také nárůst nekapilárních pórů, které jsou schopny přijímat atmosférické srážky. Oproti tomu se snížil podíl kapilárních pórů (obrázek 26), ve kterých se voda pohybuje proti gravitaci čili vztlínáním. Naopak, když se pórovitost snížila, snížilo se zastoupení nekapilárních pórů a zvýšil se počet kapilárních pórů.

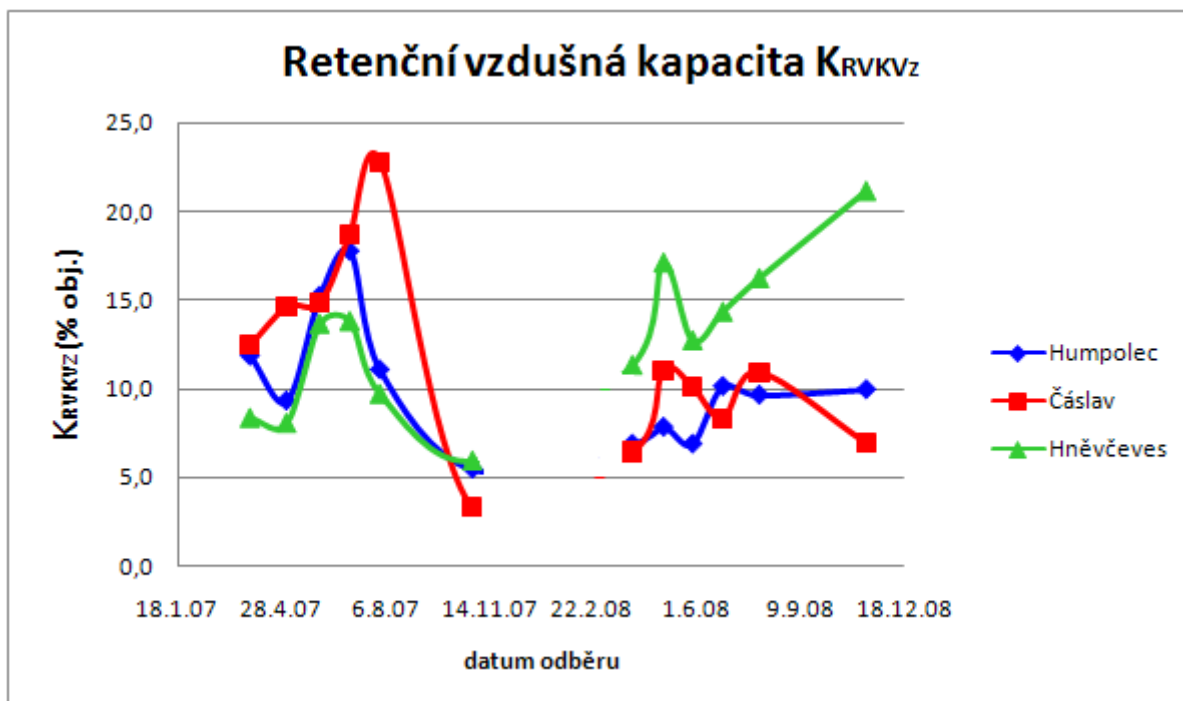
Sjuwardji and Eberbach (1998) zjistili, že snížení pórovitosti má za následek zmenšení infiltrační schopnosti povrchové vrstvy. Podobný trend sezónního vývoje zjistili i při zkoumání hydraulických vodivostí. Nasycená hydraulická vodivost v době sklizně klesá.



Obrázek 28: Sezónní variabilita provzdušenosti



Obrázek 29: Sezónní variabilita maximální kapilární vzdušné kapacity



Obrázek 30: Sezónní variabilita retenční vzdušné kapacity

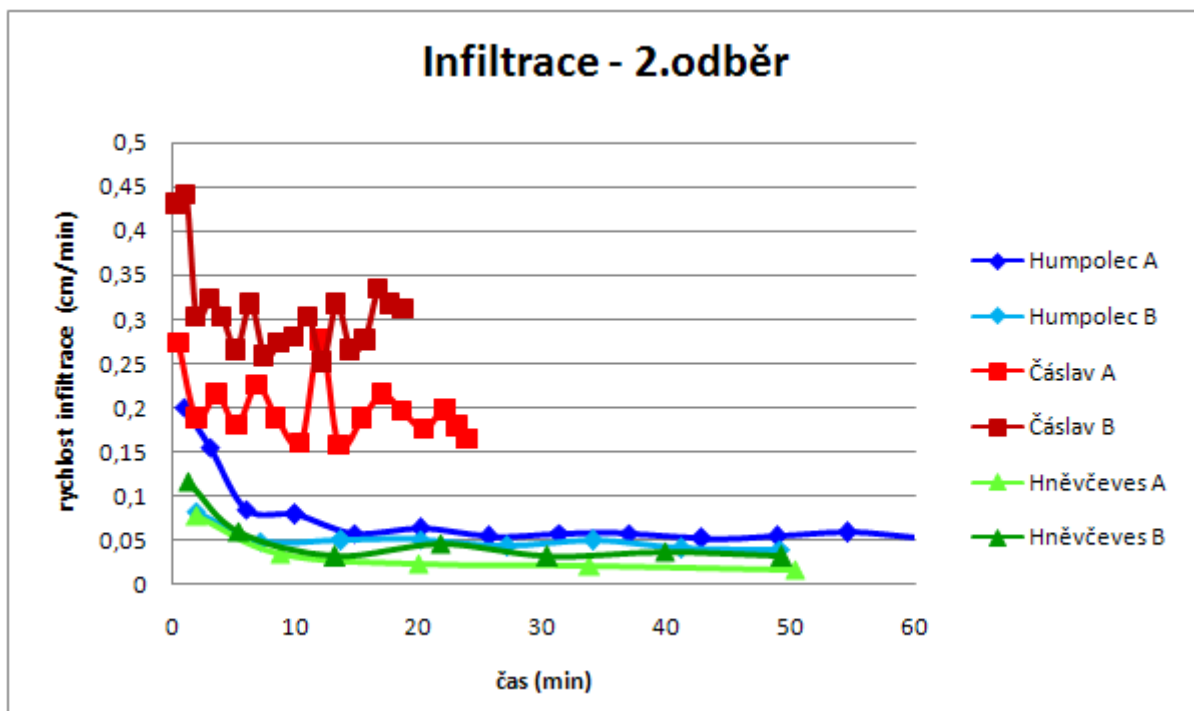
Obrázky 28, 29 a 30 znázorňují vzdušné charakteristiky, které jsou především doplňkové k vlhkostním charakteristikám. Pokud se v půdě zvýší podíl půdní vody, tak se sníží podíl půdního vzduchu (Frouz et al., 2003). Z obrázku 28 je patrné, že vývojový trend je u všech lokalit stejný. Provdušenost byla nízká v prvním i druhém roce na počátku odběru, v květnu a při posledním odběru. Nízká provzdušenost na začátku odběru může být ovlivněna vyšším zamokřením půdy po tání sněhu. Zvýšila se pouze v měsíci dubnu, červnu a červenci.

Na obrázcích 29 a 30 je vidět, že vývojový trend je naprosto shodný na všech lokalitách. Jako u pórovitosti byly nejvyšší hodnoty zaznamenány v měsíci květnu a červnu vlivem rozvoje vegetace a změně vlhkosti. Nejnižší hodnoty byly při poslední odběru díky utužení půdy. Jedině na lokalitě Hněvčeves byly vzdušné charakteristiky v druhém roce vyšší.

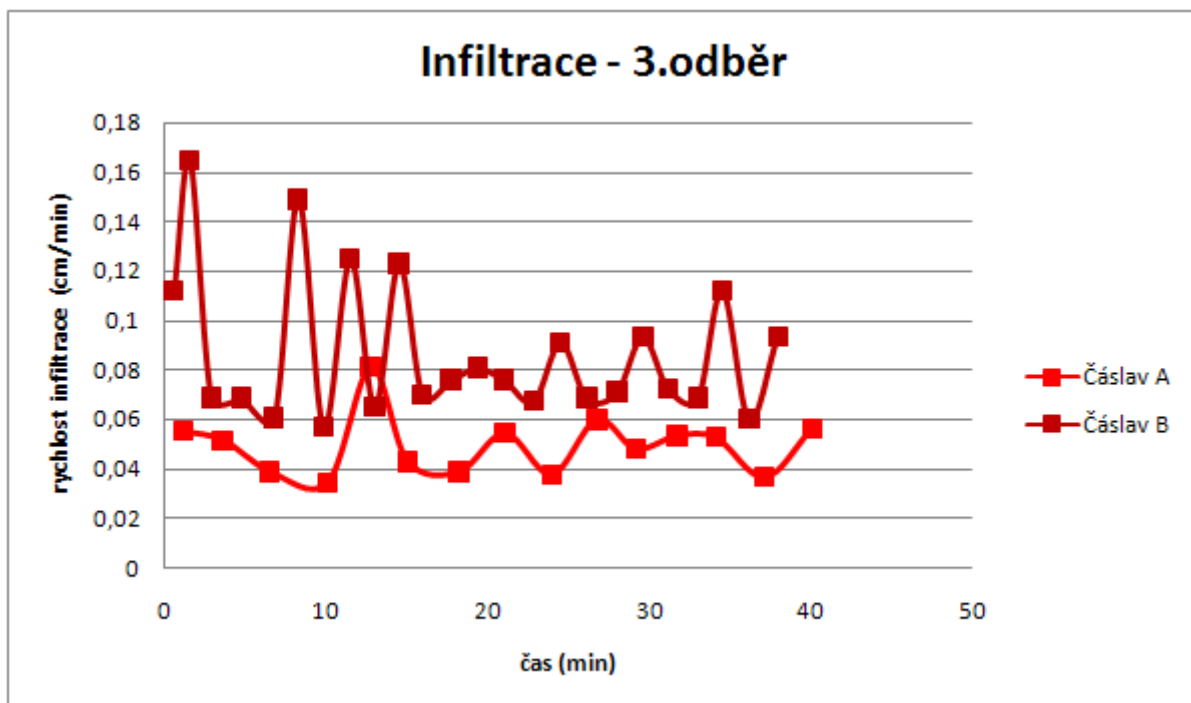
5.3 Výsledky měření infiltrace

Na obrázcích 31 až 39 jsou znázorněny průběhy změřených infiltrací. V jednom grafu jsou zobrazeny všechny tři lokality. K dispozici byly 2 mini disk infiltrometry, přičemž na každé lokalitě byla dělána dvě měření. Proto označení Humpolec A a Humpolec B atd. Pokud v některém grafu některá lokalita chybí, je to způsobeno tím, že vlhkost půdy byla příliš vysoká a v daném čase proto neproběhl měřitelný průběh infiltrace. V důsledku vysoké momentální vlhkosti půdy a následně vysoké hodnotě vlhkostního potenciálu, byl gradient mezi půdou a porézní deskou infiltrometru malý. Proto infiltrace neprobíhala vůbec nebo jen velmi pomalu a nebyla proto zaznamenána. Když měla půda malou počáteční vlhkost, infiltrace byly intenzivnější.

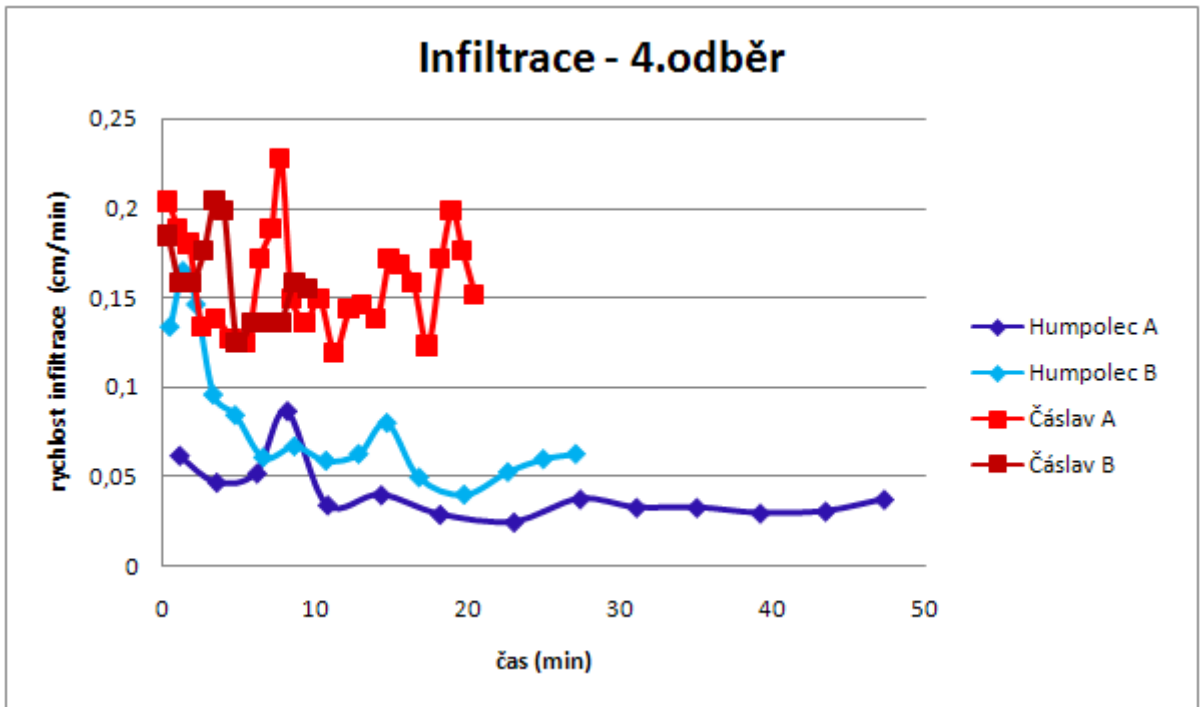
V této práci není uveden 1., 7. a 8. odběr, protože došlo k chybě při měření. Z obrázků je zřejmé, že v prvním roce měření probíhaly nejintenzivnější měřitelné infiltrace na lokalitě Čáslav. V průběhu druhého roku se zvýšila intenzita infiltrací na lokalitě Hněvčeves.



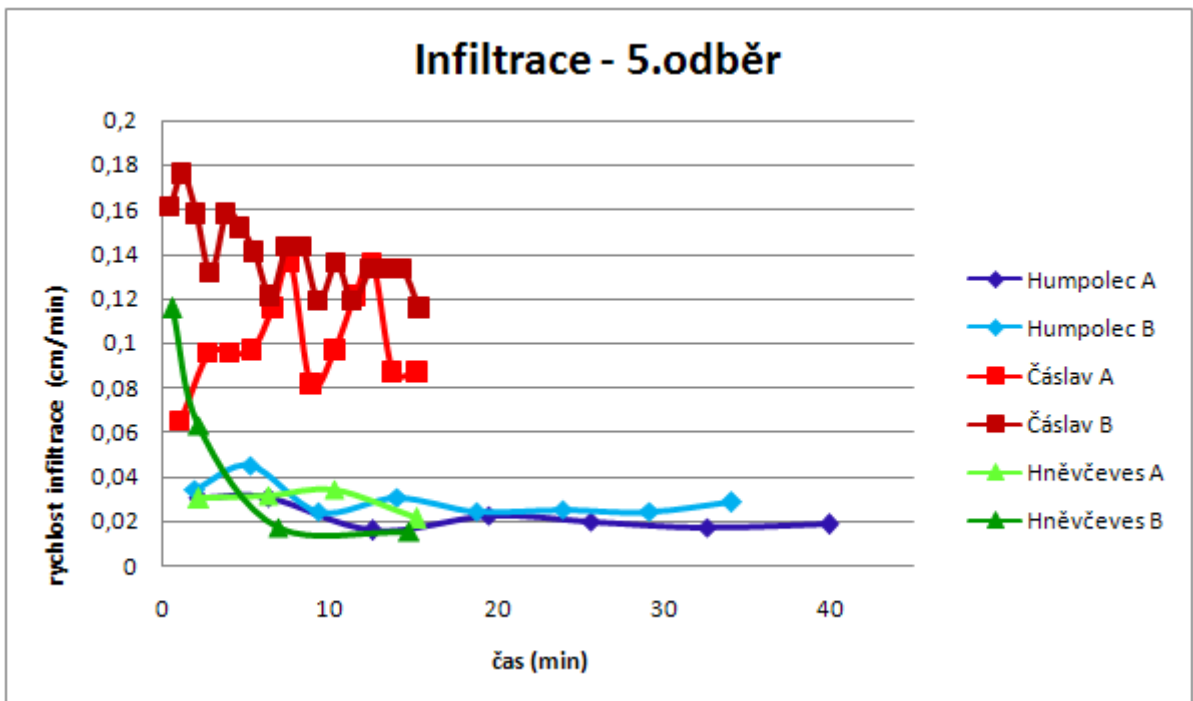
Obrázek 31: Průběh infiltrace při 2. odběru



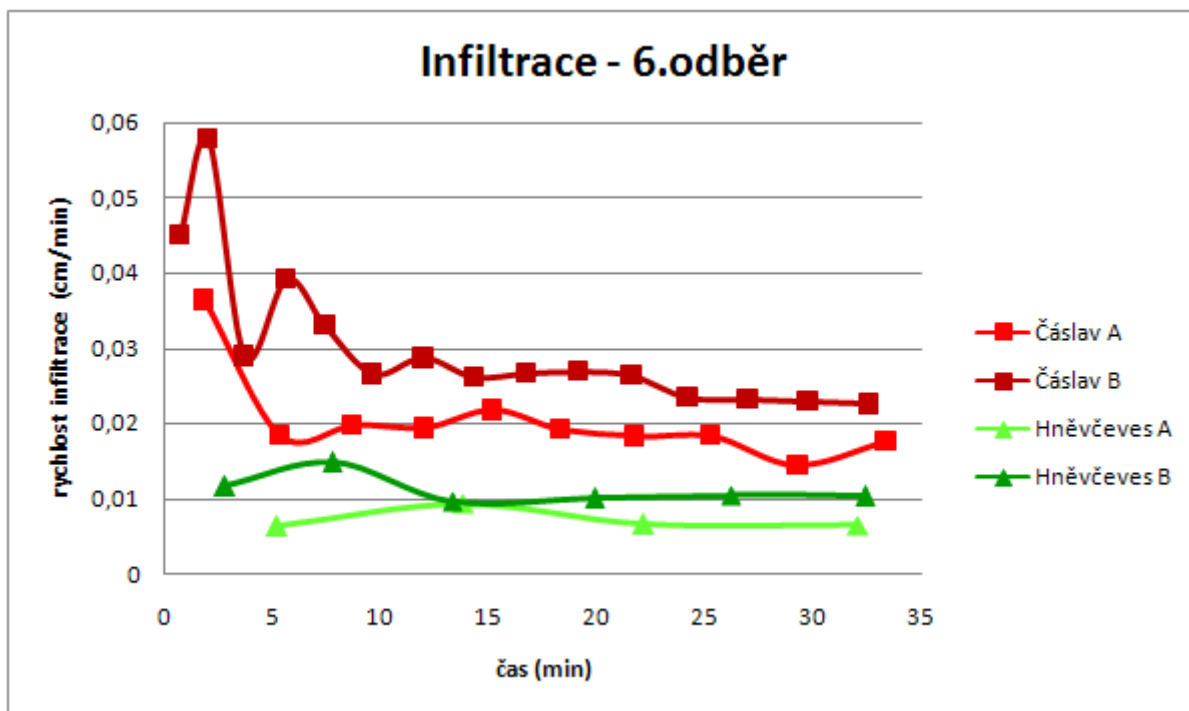
Obrázek 32: Průběh infiltrace při 3. odběru



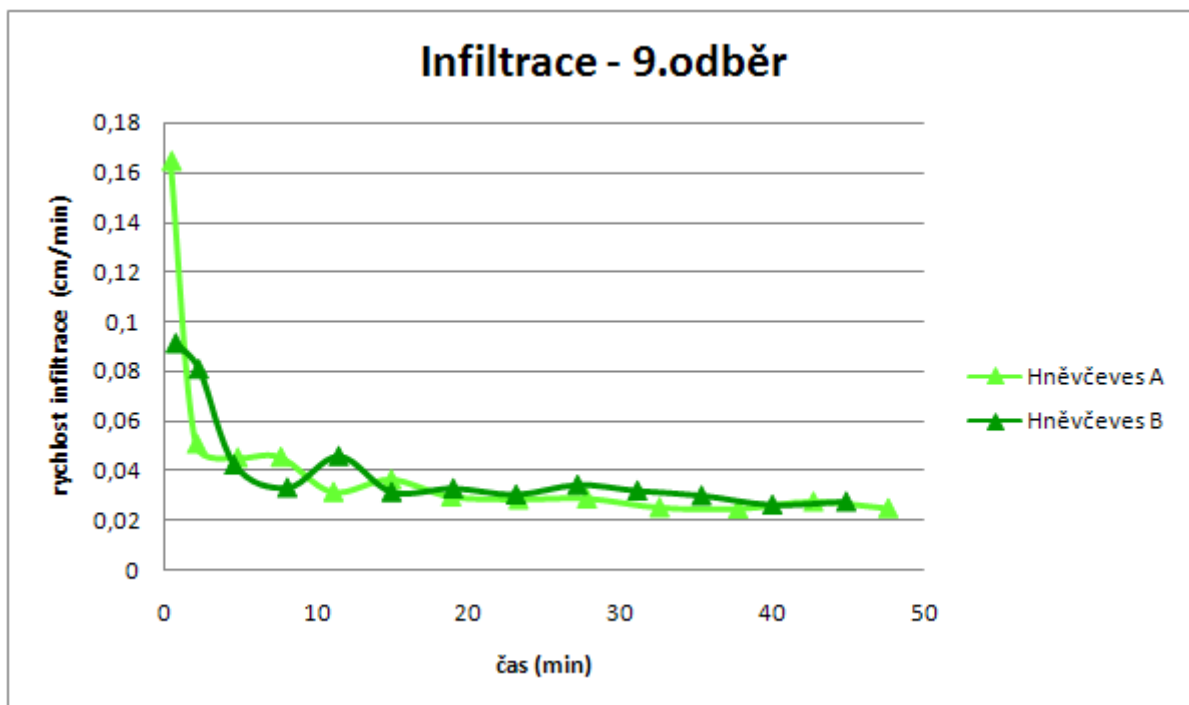
Obrázek 33: Průběh infiltrace při 4. odběru



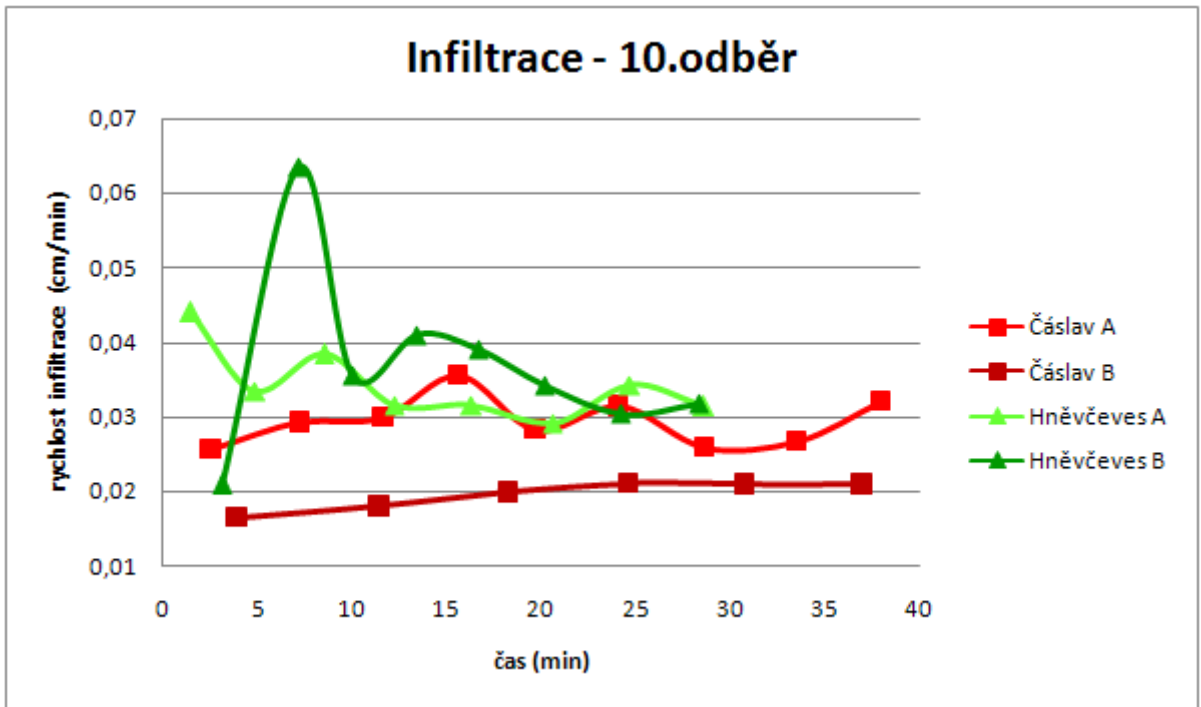
Obrázek 34: Průběh infiltrace při 5. odběru



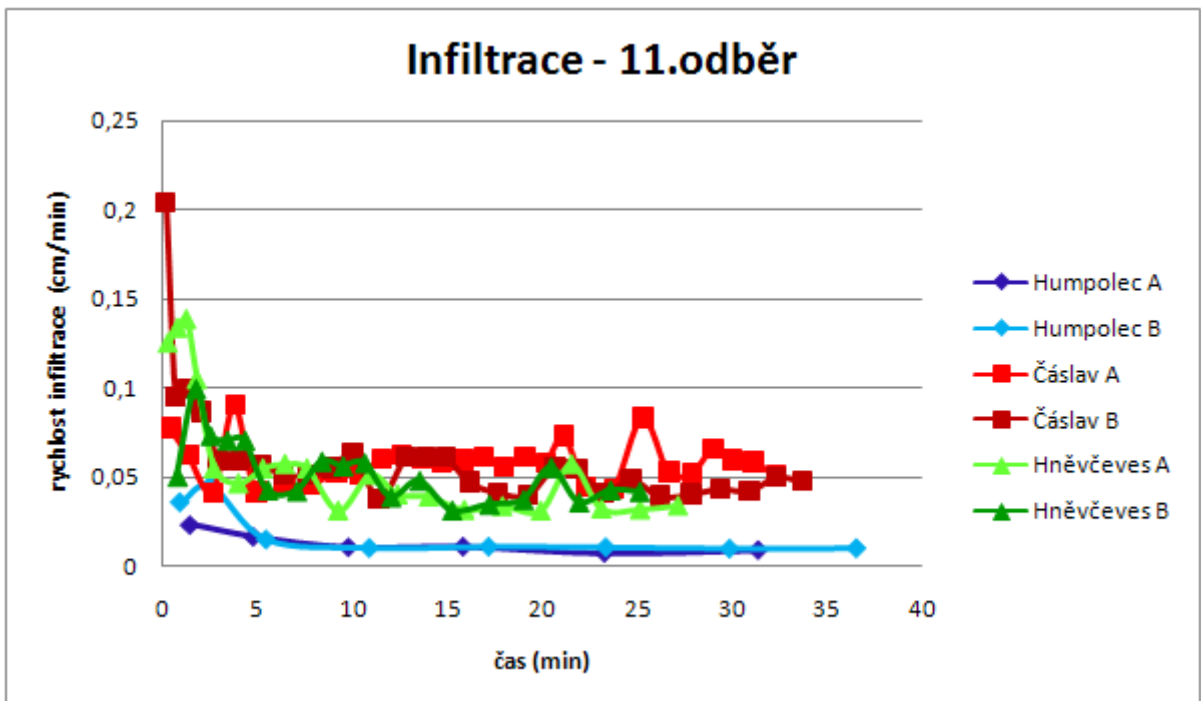
Obrázek 35: Průběh infiltrace při 6. odběru



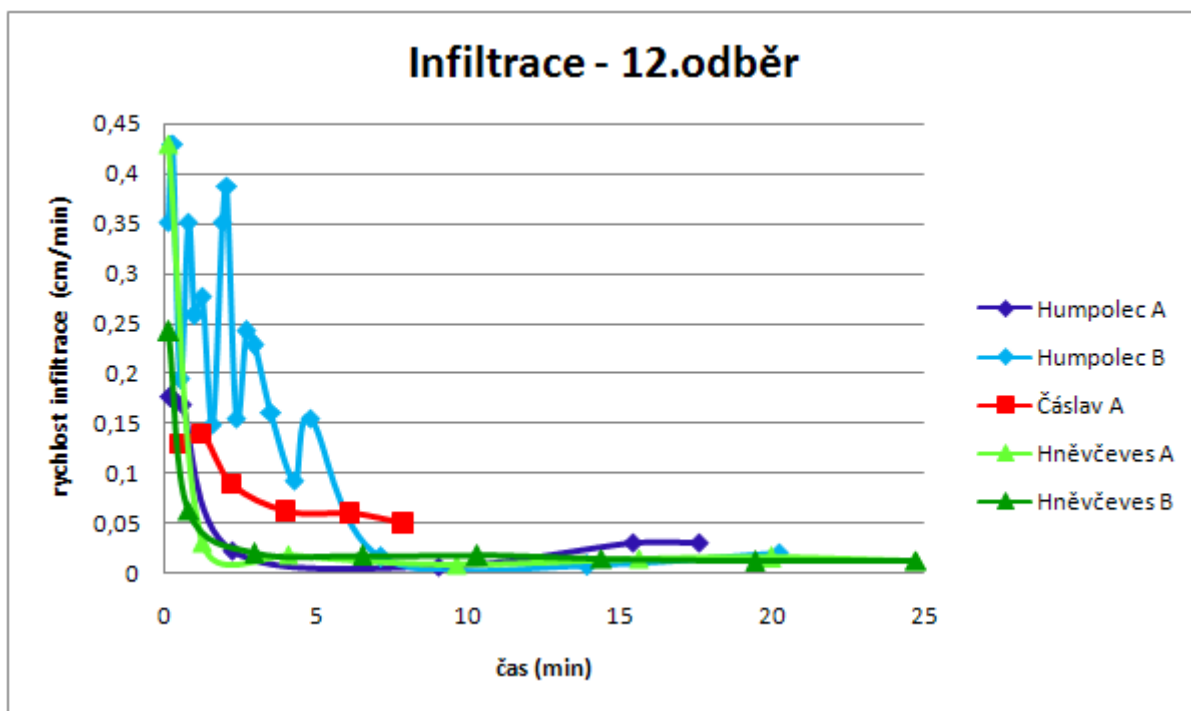
Obrázek 36: Průběh infiltrace při 9. odběru



Obrázek 37: Průběh infiltrace při 10. odběru

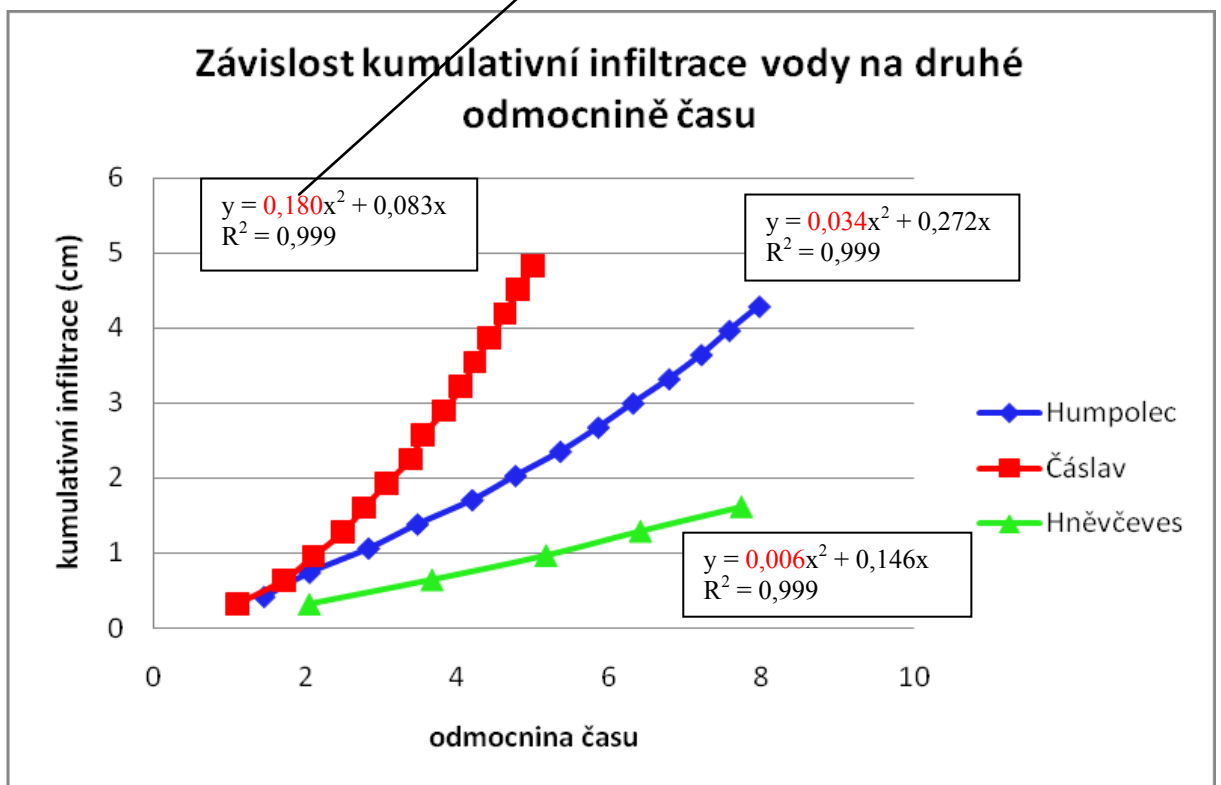


Obrázek 38: Průběh infiltrace při 11. odběru



Obrázek 39: Průběh infiltrace při 12. odběru

K mini disk infiltrometrům je přiložen manuál, ve kterém je popsáno, jak se mají dále infiltrace vyhodnotit. Bylo potřeba zjistit z naměřených hodnot závislost kumulativní infiltrace na druhé odmocnině času (obrázek 40) u všech odběrů, kde infiltrace proběhla. Naměřené hodnoty proložíme spojnici trendu, včetně hodnoty R^2 . Z rovnice křivky vyjádříme parametr C související s hydraulickou vodivostí půdy. Podle půdního druhu a nastavené sací výšky infiltrometru (v našem měření -2 cm) určíme koeficient A. Pak vypočteme hydraulickou vodivost půdy podle vzorce: $k = C/A$ (tabulka 20). Hodnoty parametru C a koeficientu A jsou uvedeny v příloze 1.



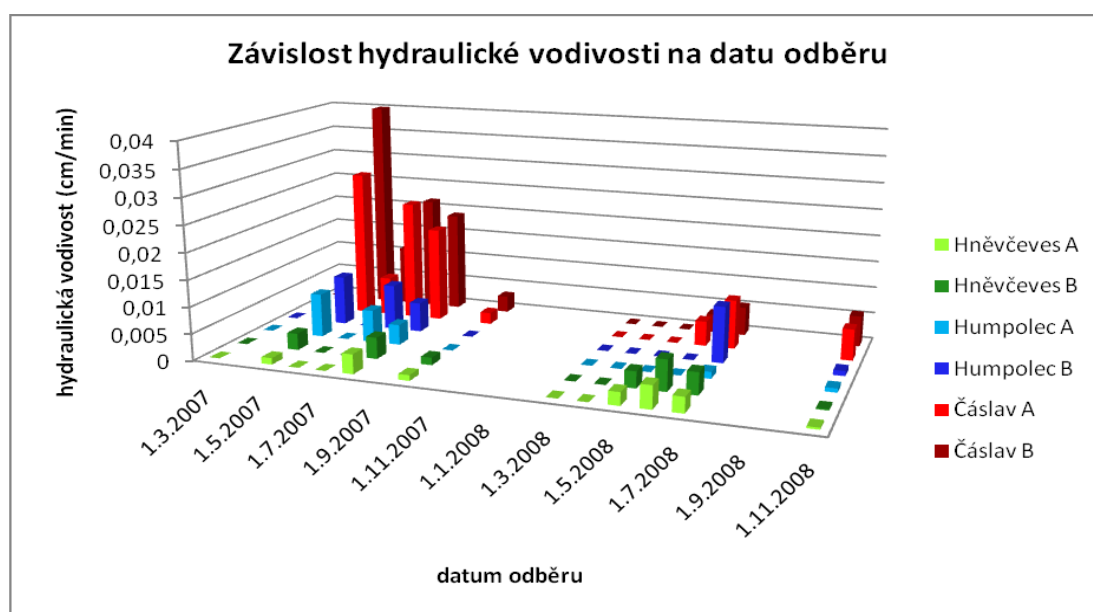
Obrázek 40: Závislost kumulativní infiltrace na druhé odmocnině času

Z obrázku 40 je vidět že kumulativní infiltrace je nejvyšší v Čáslavi. Tak je tomu téměř u všech odběrů, kde byla infiltrace měřena.

Tabulka 20: Hodnoty hydraulické vodivosti k

datum odběru	Humpolec		Čáslav		Hněvčeves	
	k A (cm.min ⁻¹)	k B (cm.min ⁻¹)	k A (cm.min ⁻¹)	k B (cm.min ⁻¹)	k A (cm.min ⁻¹)	k B (cm.min ⁻¹)
29.3.2007	ns	ns	ns	ns	ns	ns
3.5.2007	0,00822	0,00932	0,02796	0,04014	0,00121	0,00311
4.6.2007	ns	ns	0,00733	0,01135	ns	ns
3.7.2007	0,00606	0,00854	0,02279	0,02159	ns	ns
1.8.2007	0,00381	0,00559	0,01801	0,01899	0,00366	0,00401
29.10.2007	ns	ns	0,00217	0,00314	0,00105	0,00140
31.3.2008	ns	ns	ns	ns	ns	ns
30.4.2008	ns	ns	ns	ns	ns	ns
28.5.2008	ns	ns	ns	ns	0,00242	0,00307
26.6.2008	ns	ns	0,00467	0,00349	0,00423	0,00578
31.7.2008	0,00125	0,01052	0,00922	0,00539	0,00289	0,00414
11.11.2008	0,00075	0,00093	0,00586	0,00577	0,00035	0,00024

ns – nebylo stanoveno



Obrázek 41: Závislost nenasycené hydraulické vodivosti na datu odběru

Z obrázku 41 je vidět, že nejvyšší nenasycená hydraulická vodivost byla změřena na lokalitě Čáslav. V prvním roce byl vývojový trend u všech lokalit stejný. V dubnu začala vodivost stoupat, v červnu naopak klesala, v srpnu opět vzrostla a při poslední odběru se snížila. Toto může být ovlivněno srážkami. Z obrázků 4, 6 a 8 je vidět, že v létě byly největší srážky, proto měla půda v létě nejnižší infiltrační schopnost. V druhém roce je také vývojový trend stejný, vodivost opět vzrostla v srpnu a při posledním odběru klesla na minimum. První pík v druhém roce chybí, protože zde došlo při měření k chybě.

Pokud graf porovnáme s grafem stability agregátů a pórovitosti (obrázky 18 a 25), tak oscilují všechny stejně. Naopak s grafem momentální vlhkosti (obrázek 19) je vývojový trend opačný. Když byla počáteční vlhkost vysoká, infiltrace se snížila nebo vůbec neproběhla. Tuto skutečnost uvádí i Kodešová et al. (2009b).

Naše výsledky se tedy shodují se Šindelářovými et al. (2008), který tvrdí, že infiltrace vody do půdy na orných půdách závisí na půdních podmínkách v orniční vrstvě. Pokud je půda ulehlá a málo obdělávaná, tak to snižuje infiltraci. Kodešová et al. (2009b) zjistila, že rychlost infiltrace závisí na uspořádání pórů a na stabilitě agregátů. Nejvyšší infiltrační rychlost byla pozorována u půd s dobře vyvinutou půdní strukturou. V obou případech se však jednalo o infiltrace v nasycených podmínkách.

Kodešová et al. (2008) však také ukázala, že rychlost infiltrace v nenasyčených podmínkách na lokalitě Čáslav (šedozem luvická) je dána vyšším podílem větších kapilárních pórů, které svým poloměrem odpovídají tlakové výšce -2 cm a menším a poloměrech větších než 40 μm . Tyto póry byly v tom článku definovány jako významná doména preferenčního proudění, která je založena na kapilárních silách. Dále zde bylo ukázáno, že na lokalitě Humpolec (kambizem modální), kde byly také zaznamenány projevy preferenčního proudění, jsou preferenční cesty dány výhradně gravitačními (nekapilárními) póry. To znamená, že jde o poloměry větší než je poloměr odpovídající tlakové výšce -2 cm. Proto se při měření nenasyčené hydraulické vodivosti při tlakové výšce -2 cm nemohl jejich vliv projevit. Proto také největší nenasyčená vodivost vychází u lokality Čáslav. Tuto skutečnost potvrzují i naše výsledky.

5.4 Výsledky statistické analýzy

5.4.1 Porovnání půdních vlastností v roce 2007 a 2008

V tabulkách 21, 22 a 23 je uvedena statistická analýza párovým t-testem.

Tabulka 21: Výsledky t-testu pro posouzení rozdílnosti souborů na lokalitě Humpolec

Rozdíl	t-test
pH _{H₂O} 2007 - pH _{H₂O} 2008	0,78
pH _{KCl} 2007 - pH _{KCl} 2008	0,23
obsah humusu 2007 - obsah humusu 2008	1,73
Q _{4/6} 2007 - Q _{4/6} 2008	1,90
WSA 2007 - WSA 2008	2,18
θ_{mom} 2007 - θ_{mom} 2008	2,64 *
ρ_d 2007 - ρ_d 2008	1,41
P 2007 - P 2008	1,87
P _k 2007 - P _k 2008	2,58 *
P _n 2007 - P _n 2008	1,54

Tabulka 22: Výsledky t-testu pro posouzení rozdílnosti souborů na lokalitě Čáslav

Rozdíl	t-test
pH _{H₂O} 2007 - pH _{H₂O} 2008	0,55
pH _{KCl} 2007 - pH _{KCl} 2008	1,31
obsah humusu 2007 - obsah humusu 2008	2,91 *
Q _{4/6} 2007 - Q _{4/6} 2008	0,34
WSA 2007 - WSA 2008	2,72 *
θ _{mom} 2007 - θ _{mom} 2008	3,10 *
ρ _d 2007 - ρ _d 2008	1,40
P 2007 - P 2008	0,92
P _k 2007 - P _k 2008	1,77
P _n 2007 - P _n 2008	2,53

Tabulka 23: Výsledky t-testu pro posouzení rozdílnosti souborů na lokalitě Hněvčeves

Rozdíl	t-test
pH _{H₂O} 2007 - pH _{H₂O} 2008	2,66 *
pH _{KCl} 2007 - pH _{KCl} 2008	2,07
obsah humusu 2007 - obsah humusu 2008	1,24
Q _{4/6} 2007 - Q _{4/6} 2008	0,33
WSA 2007 - WSA 2008	0,22
θ _{mom} 2007 - θ _{mom} 2008	0,36
ρ _d 2007 - ρ _d 2008	3,66 *
P 2007 - P 2008	4,30 **
P _k 2007 - P _k 2008	0,41
P _n 2007 - P _n 2008	0,87

* statisticky průkazný rozdíl ($\alpha < 0,05$)

** statisticky vysoce průkazný rozdíl ($\alpha < 0,01$)

Z tabulky 21 je patrné, že statisticky průkazný rozdíl byl mezi hodnotami momentální vlhkosti v roce 2007 a 2008 a také mezi hodnotami kapilárních pórů v roce 2007 a 2008. Počáteční vlhkost byla vyšší v roce 2008 a podíl kapilárních pórů byl vyšší také v roce 2008. Hodnoty počáteční vlhkosti a kapilárních pórů jsou ovlivněny klimatickými podmínkami v době odběru. Proto se od sebe oba roky liší.

V tabulce 22 byly statisticky průkazné rozdíly mezi roky 2007 a 2008 u obsahu humusu, WSA a momentální vlhkosti. Počáteční vlhkost byla vyšší v roce 2008, naopak obsah humusu a hodnoty WSA byly vyšší v roce 2007. Vyšší stabilita agregátů v prvním roce může být způsobena vyšším obsahem humusu. Momentální vlhkost byla opět určena klimatickými podmínkami v době odběru.

Z tabulky 23 je patrné, že statisticky průkazný rozdíl byl v hodnotách pH_{H₂O} v roce 2007 a 2008 a v hodnotách objemové hmotnosti. U hodnot pórovitosti mezi roky 2007 a 2008

byl statisticky vysoce průkazný rozdíl. Hodnoty pH_{H_2O} byly vyšší v druhém roce. Hodnoty objemové hmotnosti byly naopak vyšší v prvním roce. Hodnoty pórovitosti byly vyšší v roce 2008. Rozdílné hodnoty objemové hmotnosti a pórovitosti mohly být důsledkem rozdílné ulehlosti půdy v jednotlivých letech.

5.4.2 Vzájemné vztahy mezi stabilitou agregátů, vybranými půdními vlastnostmi a hydrofyzikálními vlastnostmi

Byly zjišťovány vzájemné vztahy mezi stabilitou agregátů, vyjádřenou koeficientem WSA, vybranými půdními vlastnosti – aktivní půdní reakce, výměnná půdní reakce, obsah a kvalita humusu a hydrofyzikálními vlastnostmi. Výsledky korelace jsou uvedené v tabulkách 24, 25 a 26. V tabulce 27 jsou uvedeny koeficienty korelace závislostí rychlosti infiltrace na vybraných půdních vlastnostech. Korelace byla dělána na 12 vzorcích.

Tabulka 24: Korelační tabulka vybraných půdních vlastností, stability půdních agregátů a hydrofyzikálních vlastností na lokalitě Humpolec

	pH_{H_2O}	pH_{KCl}	obsah humusu	$Q_{4/6}$	WSA	θ_{mom}	ρ_d	P	P_k	P_n	V_z
pH_{H_2O}		-0,68*	-0,39	-0,38	0,23	-0,38	-0,05	0,01	-0,32	0,39	0,43
pH_{KCl}	-0,68*		0,08	-0,12	0,11	0,51	-0,18	0,18	0,54	-0,52	-0,51
obsah humusu	-0,39	0,08		0,65*	-0,15	0,13	0,17	-0,08	0,02	0,00	-0,17
$Q_{4/6}$	-0,38	-0,12	0,65*		-0,62*	0,43	-0,04	0,12	0,12	0,05	-0,44
WSA	0,23	0,11	-0,15	-0,62*		-0,35	0,19	-0,26	-0,47	0,46	0,30
θ_{mom}	-0,38	0,51	0,13	0,43	-0,35		-0,47	0,51	0,74**	-0,35	-0,95***
ρ_d	-0,05	-0,18	0,17	-0,04	0,19	-0,47		-0,99***	-0,62*	0,14	0,19
P	0,01	0,18	-0,08	0,12	-0,26	0,51	-0,99***		0,67*	-0,19	-0,23
P_k	-0,32	0,54	0,02	0,12	-0,47	0,74**	-0,62*	0,67*		-0,80**	-0,60*
P_n	0,39	-0,52	0,00	0,05	0,46	-0,35	0,14	-0,19	-0,80**		0,33
V_z	0,43	-0,51	-0,17	-0,44	0,30	-0,95***	0,19	-0,23	-0,60*	0,33	

Tabulka 25: Korelační tabulka vybraných půdních vlastností, stability půdních agregátů a hydrofyzikálních vlastností na lokalitě Čáslav

	pH _{H2O}	pH _{KCl}	obsah humusu	Q _{4/6}	WSA	θ _{mom}	ρ _d	P	P _k	P _n	V _z
pH _{H2O}		0,05	-0,13	0,70*	-0,16	-0,19	-0,22	0,19	-0,16	0,23	0,23
pH _{KCl}	0,05		-0,20	0,52	-0,46	0,23	-0,06	0,14	-0,01	0,16	-0,10
obsah humusu	-0,13	-0,20		0,09	0,35	0,06	-0,02	-0,06	-0,44	0,43	-0,07
Q _{4/6}	0,70*	0,52	0,09		-0,01	-0,23	-0,30	0,30	-0,57	0,64*	0,31
WSA	-0,16	-0,46	0,35	-0,01		-0,68*	-0,45	0,38	-0,59*	0,59*	0,67*
θ _{mom}	-0,19	0,23	0,06	-0,23	-0,68*		0,42	-0,37	0,58*	-0,47	-0,89***
ρ _d	-0,22	-0,06	-0,02	-0,30	-0,45	0,42		-0,99***	0,15	-0,73**	-0,78**
P	0,19	0,14	-0,06	0,30	0,38	-0,37	-0,99***		-0,09	0,68*	0,75**
P _k	-0,16	-0,01	-0,44	-0,57	-0,59*	0,58*	0,15	-0,09		-0,74**	-0,46
P _n	0,23	0,16	0,43	0,64*	0,59*	-0,47	-0,73**	0,68*	-0,74**		0,66*
V _z	0,23	-0,10	-0,07	0,31	0,67*	-0,89***	-0,78**	0,75**	-0,46	0,66*	

Tabulka 26: Korelační tabulka vybraných půdních vlastností, stability půdních agregátů a hydrofyzikálních vlastností na lokalitě Hněvčeves

	pH _{H2O}	pH _{KCl}	obsah humusu	Q _{4/6}	WSA	θ _{mom}	ρ _d	P	P _k	P _n	V _z
pH _{H2O}		0,56	-0,38	-0,35	0,02	0,25	-0,50	0,51	0,21	0,08	0,16
pH _{KCl}	0,56		-0,72**	-0,18	0,09	0,37	-0,43	0,47	0,52	-0,26	0,05
obsah humusu	-0,38	-0,72**		0,46	-0,59*	0,13	0,15	-0,19	-0,49	0,45	-0,23
Q _{4/6}	-0,35	-0,18	0,46		-0,50	0,27	0,16	-0,16	-0,43	0,38	-0,31
WSA	0,02	0,09	-0,59*	-0,50		-0,60*	0,10	-0,09	0,17	-0,32	0,38
θ _{mom}	0,25	0,37	0,13	0,27	-0,60*		-0,03	0,03	0,15	-0,04	-0,73**
ρ _d	-0,50	-0,43	0,15	0,16	0,10	-0,03		-1,00***	-0,23	-0,52	-0,67*
P	0,51	0,47	-0,19	-0,16	-0,09	0,03	-1,00***		0,23	0,51	0,66*
P _k	0,21	0,52	-0,49	-0,43	0,17	0,15	-0,23	0,23		-0,67*	0,05
P _n	0,08	-0,26	0,45	0,38	-0,32	-0,04	-0,52	0,51	-0,67*		0,38
V _z	0,16	0,05	-0,23	-0,31	0,38	-0,73**	-0,67*	0,66*	0,05	0,38	

* statisticky průkazné závislosti ($\alpha < 0,05$)

** statisticky vysoce průkazné závislosti ($\alpha < 0,01$)

*** statisticky vysoce průkazné závislosti ($\alpha < 0,001$)

Výsledky korelační analýzy na lokalitě Humpolec jsou popsány v tabulce 24. Bylo zjištěno, že stabilita agregátů je nepřímo závislá na kvalitě humusu. Čím byla vyšší kvalita humusu, tím se zranitelnost agregátů snižovala. Stejnou skutečnost uvádí i Valla et al. (2000). Byla mezi nimi zjištěna statisticky vysoce průkazná závislost. Naopak kvalita a obsah humusu jsou v přímé závislosti. Hodnoty pH_{H_2O} a pH_{KCl} jsou na sobě nepřímo závislé. Těsná závislost je mezi počáteční vlhkostí a kapilárními póry. Čím byla vyšší počáteční vlhkost, tím více bylo v půdě kapilárních pórů. Těsná nepřímá závislost je mezi pórovitostí a objemovou hmotností. Toto je dáno tím, že čím vyšší je pórovitost, tím nižší je objemová hmotnost. V případě závislosti kapilárních pórů na pórovitosti byla zjištěna přímá závislost, čím bylo více kapilárních pórů, tím byla vyšší pórovitost.

V tabulce 25 jsou popsány výsledky korelační analýzy na lokalitě Čáslav. Mezi kvalitou humusu a aktivní půdní reakcí byla zjištěna přímá závislost, se zvyšující se kvalitou humusu se zvyšovala i hodnota aktivní půdní reakce. Byla mezi nimi zjištěna statisticky průkazná závislost. Dále byla zjištěna nepřímá závislost mezi stabilitou agregátů a počáteční vlhkostí. Pokud se zvyšovala počáteční vlhkost, tak se snižovala stabilita agregátů. Stabilita agregátů dále nepřímo závisela na podílu kapilárních pórů a přímo závisela na podílu nekapilárních pórů a na provzdušenosti. Se zvyšujícím se podílem kapilárních pórů se stabilita agregátů snižovala. Naopak se zvyšujícím se podílem nekapilárních pórů a se zvyšující se provzdušeností se stabilita agregátů zvyšovala. Obsah nekapilárních pórů a provzdušenost měly pozitivní vliv na stabilitu agregátů. V případě závislosti nekapilárních pórů na pórovitosti byla zjištěna přímá závislost, čím byl vyšší podíl nekapilárních pórů, tím byly vyšší hodnoty pórovitosti.

Výsledky korelační analýzy na lokalitě Hněvčeves jsou popsány v tabulce 26. Bylo zjištěno, že výměnná půdní reakce je nepřímo závislá na obsahu humusu. Čím vyšší byla hodnota výměnné půdní reakce, tím nižší byl obsah humusu. Byla mezi nimi zjištěna statisticky vysoce průkazná závislost. V případě závislosti stability agregátů na obsahu humusu byla zjištěna nepřímá závislost, se zvyšujícím se obsahem humusu se zranitelnost agregátů snižovala. Toto ve své práci uvádějí i Angers a Caron (1998). Dále byla zjištěna nepřímá závislost mezi stabilitou agregátů a počáteční vlhkostí. Pokud se zvyšovala počáteční vlhkost, tak se snižovala stabilita agregátů.

Tabulka 27: Koeficienty korelace závislosti rychlosti infiltrace na vybraných půdních vlastnostech

charakteristika	Humpolec	Čáslav	Hněvčeves
	koeficienty korelace		
	rychlost infiltrace		
WSA	0,38	0,53	0,63*
obsah humusu	-0,54	-0,19	-0,32
Q _{4/6}	-0,69*	0,20	-0,65*
θ _{mom}	-0,68*	-0,71**	-0,74**
ρ _d	-0,15	-0,69*	0,06
P	0,09	0,65*	-0,08
P _k	-0,27	-0,20	0,38
P _n	0,12	0,42	-0,38
V _z	0,80**	0,82**	0,50

* statisticky průkazné závislosti ($\alpha < 0,05$)

** statisticky vysoce průkazné závislosti ($\alpha < 0,01$)

Z tabulky 27 je patrné, že rychlost infiltrace závisí na všech třech lokalitách především na počáteční vlhkosti. Byla zde zjištěna nepřímá závislost. Čím byla vyšší počáteční vlhkost, tím se rychlost infiltrace snižovala. Ke stejným výsledkům dospěl i Šindelář et al. (2008). Dále byla rychlost infiltrace ovlivněna provzdušeností na lokalitách Humpolec a Čáslav. Byla zde zjištěna těsná přímá závislost. Pokud byly vysoké hodnoty provzdušenosti, tak byla vysoká rychlost infiltrace.

Rychlost infiltrace také závisí na kvalitě humusu. V našem případě byla prokázána nepřímá závislost na lokalitách Humpolec a Hněvčeves. Rychlost infiltrace byla tím pomalejší, čím nižší byla kvalita humusu. Kutílek (1978) uvádí, že vyšší kvalita humusu příznivě ovlivňuje vodní režim půdy a že zvyšuje infiltrační schopnost půdy.

Na lokalitě Hněvčeves byla prokázána přímá závislost mezi rychlostí infiltrace a stabilitou agregátů. Čím vyšší byla rychlost infiltrace, tím vyšší byla stabilita agregátů. Pokud je dobře vyvinutá struktura, tedy stabilita agregátů je vysoká, je možné, že rychlost infiltrace bude vyšší. Kodešová et al. (2009b) také uvádí, že nejvyšší rychlost infiltrace je u půd s dobře vyvinutou strukturou.

Na lokalitě Čáslav byla prokázána přímá závislost mezi rychlostí infiltrace a pórovitostí a nepřímá mezi rychlostí infiltrace a objemovou hmotností. Čím vyšší rychlost infiltrace, tím vyšší hodnoty pórovitosti. Objem, tvar a velikost půdních pórů má pozitivní vliv na rychlost pohybu vody (Kutílek, 1978, Kodešová et al., 2009b).

6. ZÁVĚR

V práci byla hodnocena sezónní variabilita stability agregátů, vybraných půdních vlastností a hydrofyzikálních vlastností na různých lokalitách (Humpolec, Čáslav, Hněvčeves) v České republice po dobu dvou let.

Časová variabilita byla prokázána. Stabilita agregátů a hodnoty půdních vlastností se měnily v čase vlivem klimatických podmínek, biologické aktivity, vegetace a hospodařením na půdě.

Hodnoty pH_{H_2O} a pH_{KCl} se během dvou let změnilo minimálně na všech lokalitách. Obsah humusu, kvalita humusu a stabilita agregátů se měnila výrazně v prvním roce, ve druhém roce byla variabilita menší na všech lokalitách. Pokud jde o vlhkostní charakteristiky, charakteristiky pórovitosti a vzdušné charakteristiky, tak opět jejich hodnoty byly v prvním roce více variabilní než ve druhém. Největší rozdíly měřených půdních vlastností byly změřeny na lokalitě Humpolec. Lokalita Humpolec leží oproti lokalitám Čáslav a Hněvčeves v chladnější oblasti a s více srážkami. To by mohlo mít vliv na vyšší variabilitu.

Statisticky průkazné rozdíly mezi roky odběru byly zjištěny u momentální vlhkosti a nekapilárních pórů na lokalitě Humpolec. Na lokalitě Čáslav byly zjištěny průkazné rozdíly mezi roky odběru u obsahu humusu, stability agregátů a momentální vlhkosti. A na lokalitě Hněvčeves byly zjištěny průkazné rozdíly mezi roky odběru u aktivní půdní reakce, objemové hmotnosti a pórovitosti.

Pro zjišťování vzájemných vztahů mezi stabilitou agregátů, vybranými půdními vlastnostmi a hydrofyzikálními vlastnostmi byly korelační analýzou zjištěny slabé, i když v některých případech statisticky průkazné závislosti.

Koeficienty korelace dokazují, že rychlost infiltrace ve všech lokalitách je nejvíce ovlivněna momentální vlhkostí. Dobrá stabilita půdy měla příznivý vliv na rychlost infiltrace.

Na lokalitě Hněvčeves byla stabilita agregátů závislá na obsahu humusu. Čím byl obsah humusu vyšší, tím méně podléhali agregáty destrukci. Na lokalitě Humpolec bylo naopak prokázáno, že stabilita agregátů je v nepřímé závislosti ke kvalitě humusu. A pokud jde o lokalitu Čáslav, tak stabilita agregátů zde byla průkazně závislá na počáteční vlhkosti.

7. POUŽITÁ LITERATURA

Angers D.A., Caron J. Plant-induced changes in soil structure: Processes and feedbacks. *Biogeochemistry*, 1998, 42: 55-72

Brabenec V., Šařecová P., Ladýřová R., Hošková P. Cvičení a přednášky z biometricky s řešenými příklady pro AF a ITSZ. ČZU v Praze, 2003, 208 s., ISBN 80-213-0635-1

Cambardella C.A. Aggregation and Organic Matter. In: Lal R.[ed.]. *Encyklopedia of Soil Science*. Marcel Dekker, Inc., New York, 2002, 41-44, ISBN 0-8247-0634-X

Chan K.Y., Heenan D.P., Ashley R. Seasonal changes in surface aggregate stability under different tillage and crops. *Soil and Tillage Research*, 1994, 28: 301-314

De Gryze S. *Soil aggregation: processes and modeling*. K.U. Leuven, 2004, 208 s.

Díaz-Zorita M., Perfect E., Grove J.H. Disruptive methods for assessing soil structure. *Soil and Tillage Research*, 2002, 64: 3-22

Drbal J. *Geologie a půdoznalství III.b.* VŠZ Praha, 1986, 175 s.

Frouz J., Šourková M., Frouzová J. Fyzikální vlastnosti půdy a jejich interakce s půdními organismy a kořeny rostlin. Ústav půdní Biologie AV ČR, 2003, 156 s., ISBN 80-86525-02-3

Gerke H.H., Köhne J.M. Estimating hydraulic properties of soil aggregate skins from sortivity and water retention. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, 66: 26-36

Klimo E. *Lesnická pedologie*. VŠZ v Brně, 1990, 256 s., ISBN 80-7157-007-9

Kodešová R., Rohošková M., Žigová A., Kodeš V., Kutílek M. Soil micromorphology, soil structure stability and soil hydraulic properties, 16th Slovak-Czech-Polish Scientific Seminar, 2006, ISBN 80-89139-09-4

Kodešová R., Kočárek M., Kodeš V., Šimůnek J., Kozák J. Impact of Soil micromorphological Features on Water Flow and Herbicide Transport in Soils. *Vadose zone Journal*, 2008, 7: 798-809

Kodešová R., Rohošková M., Žigová A. Comparison of aggregate stability within six soil profiles under conventional tillage using various laboratory tests. *Biologia*, 2009a, 64/3

Kodešová R., Vignozzi N., Rohošková M., Hájková T., Kočárek M., Pagliai M., Kozák J., Šimůnek J. Impact of varying soil structure on transport processes in different diagnostic horizons of three soil types. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2009b, 104: 107-125

Kozák J., Němeček J., Matula S., Valla M., Borůvka L. *Pedologie*. ČZU v Praze, 2005, 132 s., ISBN 80-213-0907-5

Kutílek M. *Vodohospodářská pedologie*. SNTL/ALFA Praha, 1978, 296 s.

Le Bissonnais Y. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*, 1996, 47: 425-437

Lipiec J., Wójciga A., Horn R. Hydraulic properties of soil aggregates as influenced by compaction. *Soil and Tillage Research*, 2009, 103: 170-177

Lhotský J., Paris P., Werner D. *Vědecké práce 9*. VÚMOP Praha, 1997, 174 s., ISSN 1210-1672

Němeček J., Macků J., Vokoun J., Vavříček D., Novák P. *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. ČZU Praha, 2001, 78 s., ISBN 80-238-8061-6

Nimmo J.R., Perkins K.S. Aggregate stability and size distribution. In: Dane J.H., Topp G. C. [eds.]. *Methods of Soil Analysis, Part 4 - Physical Methods*. Soil Science Society of America, Inc. Madison, 2002, No. 5, 317-328

Pavel L. *Geologie a půdoznalství*. VŠZ v Praze, 1984, 280 s.

Rohošková M., Valla M. Comparison of two methods for aggregate stability measurement - a review. *Plant, Soil and Environment*, 2004, 8: 379-382

Six J., Bossuyt H., Degryze S., Deneuf K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research*, 2004, 79: 7-31

Strudley W.M., Green T.R., Ascough II J.C. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. *Soil and Tillage Research*, 2008, 99: 4-48

Suwardji P., Eberbach P.L. Seasonal changes of physical properties of an Oxic Paleustalf (Red Kandosol) after 16 years of direct drilling or conventional cultivation. *Soil and Tillage Research*, 1998, 49: 65-77

Šarapatka B., Dlapa P., Bedrna Z. Kvalita a degradace půdy. Univerzita Palackého v Olomouci, 2002, 246 s., ISBN 80-244-0584-9

Šindelář R., Kovaříček P., Vlášková M., Hůla J., Kroulík M. Měření infiltrace vody do půdy pomocí kruhového infiltrometru mini disk. Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2008

Tomášek M. Půdy České republiky. Česká geologická služba Praha, 2007, čtvrté vydání, 68 s., ISBN 978-80-7075-688-1

Valla M., Kozák J., Němeček J., Matula S., Borůvka L., Drábek O. Pedologické praktikum. ČZU v Praze, 2006, druhé vydání, 151 s., ISBN 80-213-0914-8

Valla M., Kozák J., Ondráček V. Vulnerability of aggregates separated from selected anthrosols developed on reclaimed dumpsites. *Rostlinná Výroba*, 2000, 46: 563-568

Zbíral J. Analýza půd I. Jednotlivé pracovní postupy. Státní kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno, 1995, 197 s.

Zbíral J., Honsa I., Malý S., Čížmár D. Analýza půd III. Jednotlivé pracovní postupy. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno, 2004, 199 s., ISBN 80-86548-60-0

PŘÍLOHY

Příloha 1: Tabulky

Tabulka 1: Naměřené hodnoty vybraných půdních vlastností a hydrofyzikálních vlastností na lokalitě Humpolec

datum odběru	pH _{H2O}	pH _{KCl}	obsah humusu (%)	Q _{4/6}	WSA	θ _{mom} (%)	θ _{ns} (%)	θ ₃₀ (%)	θ _{MKK} (%)	θ _{RVK} (%)	ρ _d (g.cm ⁻³)	P (%)	P _k (%)	P _n (%)	V _z (%)	K _{MKKVz} (%)	K _{RVKVz} (%)
29.3.2007	6,12	4,80	2,57	4,83	0,48	27,07	36,61	34,81	33,57	28,88	1,53	40,70	29,28	5,89	13,63	7,13	11,83
3.5.2007	6,10	4,91	2,10	3,80	0,54	13,00	43,32	39,89	38,11	31,65	1,52	40,94	31,65	1,05	27,94	2,82	9,29
4.6.2007	5,90	4,74	2,53	4,90	0,57	24,40	31,37	29,07	27,03	23,27	1,59	38,48	23,27	9,41	14,08	11,45	15,21
3.7.2007	5,99	4,85	2,76	4,41	0,70	13,34	36,41	32,64	30,28	24,03	1,50	41,78	24,03	9,15	28,44	11,51	17,75
1.8.2007	5,37	5,23	2,30	4,83	0,49	30,65	41,35	39,92	38,29	32,61	1,45	43,65	32,61	3,73	13,00	5,36	11,04
29.10.2007	5,58	5,53	2,66	4,39	0,63	34,82	39,34	37,92	37,12	33,92	1,56	39,35	33,92	1,44	4,54	2,23	5,43
31.3.2008	5,55	5,20	2,64	4,64	0,52	39,81	43,78	42,58	41,90	38,35	1,43	45,19	38,35	2,61	5,38	3,29	6,85
30.4.2008	5,41	4,89	3,03	5,32	0,39	24,01	38,76	36,95	36,18	30,77	1,60	38,57	30,77	1,62	14,56	2,40	7,80
28.5.2008	5,64	5,10	2,72	4,99	0,51	34,98	43,24	41,75	40,92	36,42	1,48	43,27	36,42	1,52	8,29	2,35	6,85
26.6.2008	5,43	5,33	2,87	4,95	0,46	29,80	42,27	40,63	39,38	34,01	1,46	44,11	34,01	3,48	14,32	4,73	10,11
31.7.2008	5,84	4,95	2,96	5,07	0,50	26,20	42,55	40,49	38,99	33,80	1,48	43,42	33,80	2,93	17,22	4,43	9,62
11.11.2008	6,14	4,86	2,47	4,95	0,43	37,79	44,00	42,97	42,04	36,83	1,39	46,75	36,83	3,78	8,97	4,71	9,93

Tabulka 2: Naměřené hodnoty vybraných půdních vlastností a hydrofyzikálních vlastností na lokalitě Čáslav

datum odběru	pH _{H2O}	pH _{KCl}	obsah humusu (%)	Q _{4/6}	WSA	θ _{mom} (%)	θ _{ns} (%)	θ ₃₀ (%)	θ _{MKK} (%)	θ _{RVK} (%)	ρ _d (g.cm ⁻³)	P (%)	P _k (%)	P _n (%)	V _z (%)	K _{MKKVz} (%)	K _{RVKVz} (%)
29.3.2007	7,75	7,28	2,36	3,99	0,43	26,65	33,51	31,80	31,03	26,76	1,54	39,20	26,76	7,40	12,54	8,16	12,44
3.5.2007	7,81	7,08	1,97	3,56	0,68	12,98	43,19	38,34	35,73	28,66	1,44	43,26	28,66	4,92	30,28	7,53	14,59
4.6.2007	7,85	7,12	2,53	4,02	0,66	24,37	29,46	27,70	25,55	21,57	1,61	36,39	21,58	8,69	12,02	10,84	14,82
3.7.2007	7,97	7,32	2,20	4,23	0,56	18,80	37,07	32,60	29,64	23,83	1,45	42,53	23,83	9,93	23,74	12,90	18,71
1.8.2007	7,35	7,26	2,28	3,68	0,70	24,10	39,80	35,86	31,94	25,61	1,31	48,39	25,61	12,53	24,29	16,45	22,78
29.10.2007	7,33	7,05	2,23	3,00	0,52	29,78	34,10	32,86	32,40	30,00	1,69	33,30	30,00	0,44	3,52	0,89	3,30
31.3.2008	7,30	7,34	2,33	3,43	0,47	30,44	36,56	35,28	34,72	31,18	1,61	37,59	31,18	2,31	7,15	2,87	6,40
30.4.2008	7,40	7,36	1,95	3,81	0,54	21,39	32,37	30,34	29,38	23,88	1,68	34,91	23,88	4,57	13,52	5,53	11,03
28.5.2008	7,53	7,16	2,14	3,51	0,53	25,89	37,60	35,73	33,97	29,16	1,57	39,25	29,16	3,53	13,37	5,28	10,10
26.6.2008	7,64	7,22	2,07	3,76	0,50	31,30	34,89	34,41	33,90	30,34	1,58	38,64	30,34	4,23	7,34	4,74	8,30
31.7.2008	7,62	7,22	2,07	3,63	0,41	25,47	36,49	34,85	32,94	28,16	1,57	39,07	28,16	4,22	13,60	6,13	10,91
11.11.2008	7,95	7,34	1,89	3,85	0,30	35,04	38,55	37,63	36,77	32,72	1,56	39,67	32,72	2,04	4,63	2,90	6,95

Tabulka 3: Naměřené hodnoty vybraných půdních vlastností a hydrofyzikálních vlastností na lokalitě Hněvčeves

datum odběru	pH _{H2O}	pH _{KCl}	obsah humusu (%)	Q _{4/6}	WSA	θ _{mom} (%)	θ _{ns} (%)	θ ₃₀ (%)	θ _{MKK} (%)	θ _{RVK} (%)	ρ _d (g.cm ⁻³)	P (%)	P _k (%)	P _n (%)	V _z (%)	K _{MKKVz} (%)	K _{RVKVz} (%)
29.3.2007	6,31	5,63	1,93	4,05	0,29	27,37	33,03	31,44	30,89	28,33	1,62	36,65	28,33	5,21	9,29	5,76	8,32
3.5.2007	6,45	5,43	1,71	3,78	0,59	14,76	36,16	34,11	33,50	30,25	1,58	38,28	30,25	4,17	23,52	4,78	8,03
4.6.2007	6,64	5,33	1,91	3,91	0,48	25,46	28,17	26,96	25,29	22,60	1,63	36,24	22,60	9,28	10,78	10,95	13,64
3.7.2007	6,13	5,38	2,05	4,05	0,35	25,45	29,89	28,11	27,66	24,53	1,58	38,32	24,53	10,21	12,87	10,66	13,79
1.8.2007	6,35	6,09	1,74	3,87	0,56	24,96	36,51	35,79	34,54	30,77	1,52	40,45	30,77	4,66	15,49	5,91	9,68
29.10.2007	6,87	6,45	1,71	3,88	0,43	30,93	35,85	34,55	33,60	30,81	1,62	36,71	30,81	2,17	5,78	3,12	5,90
31.3.2008	6,61	6,16	1,72	3,98	0,44	30,01	38,50	36,42	35,35	31,10	1,50	42,40	31,10	5,98	12,39	7,06	11,31
30.4.2008	6,63	6,35	1,64	4,05	0,52	20,80	36,63	33,52	31,91	25,60	1,49	42,69	25,60	9,17	21,89	10,79	17,10
28.5.2008	6,57	6,40	1,65	3,80	0,47	26,77	40,00	37,22	35,24	29,77	1,50	42,47	29,77	5,25	15,71	7,24	12,71
26.6.2008	6,61	6,21	1,61	3,83	0,43	24,76	37,20	34,99	32,97	27,67	1,51	41,99	27,67	7,00	17,23	9,02	14,32
31.7.2008	6,73	6,03	1,87	3,84	0,43	21,69	40,42	37,32	35,05	28,62	1,43	44,83	28,62	7,51	23,14	9,78	16,20
11.11.2008	6,93	6,09	1,85	3,90	0,36	28,03	41,23	38,13	35,71	28,94	1,30	50,08	28,94	11,95	22,05	14,37	21,14

Tabulka 4: Naměřené hodnoty specifické hmotnosti (g.cm⁻³) pro rok 2007 a 2008

	Humpolec	Čáslav	Hněvčeves
rok 2007	2,58	2,54	2,56
rok 2008	2,61	2,58	2,61

Tabulka 5: Hodnoty parametru C

datum odběru	Humpolec		Čáslav		Hněvčeves	
	C A (cm.min ⁻¹)	C B (cm.min ⁻¹)	C A (cm.min ⁻¹)	C B (cm.min ⁻¹)	C A (cm.min ⁻¹)	C B (cm.min ⁻¹)
29.3.2007	ns	ns	ns	ns	ns	ns
3.5.2007	0,0340	0,0372	0,1800	0,2568	0,0060	0,0211
4.6.2007	ns	ns	0,0469	0,0726	ns	ns
3.7.2007	0,0242	0,0341	0,1458	0,1381	ns	ns
1.8.2007	0,0152	0,0223	0,1152	0,1215	0,0248	0,0272
29.10.2007	ns	ns	0,0139	0,0201	0,0071	0,0095
31.3.2008	ns	ns	ns	ns	ns	ns
30.4.2008	ns	ns	ns	ns	ns	ns
28.5.2008	ns	ns	ns	ns	0,0164	0,0208
26.6.2008	ns	ns	0,0299	0,0223	0,0287	0,0392
31.7.2008	0,0050	0,0420	0,0590	0,0345	0,0196	0,0281
11.11.2008	0,0030	0,0037	0,0375	0,0369	0,0024	0,0016

ns – nebylo stanoveno

Tabulka 6: Hodnoty koeficientu A

	A
Humpolec	3,990724
Čáslav	6,397616
Hněvčeves	6,782854

Příloha 2: Fotodokumentace



Obrázek 1: Odběrové místo na lokalitě Čáslav – březen 2008



Obrázek 2: Odběrové místo na lokalitě Hněvčeves – duben 2008



Obrázek 3: Odběrové místo na lokalitě Hněvčeves – květen 2008



Obrázek 4: Odběrové místo na lokalitě Hněvčeves – červen 2008



Obrázek 5: Odběrové místo na lokalitě Čáslav – červenec 2008



Obrázek 6: Odběrové místo na lokalitě Hněvčeves – srpen 2007



Obrázek 7: Odběrové místo na lokalitě Humpolec – listopad 2008



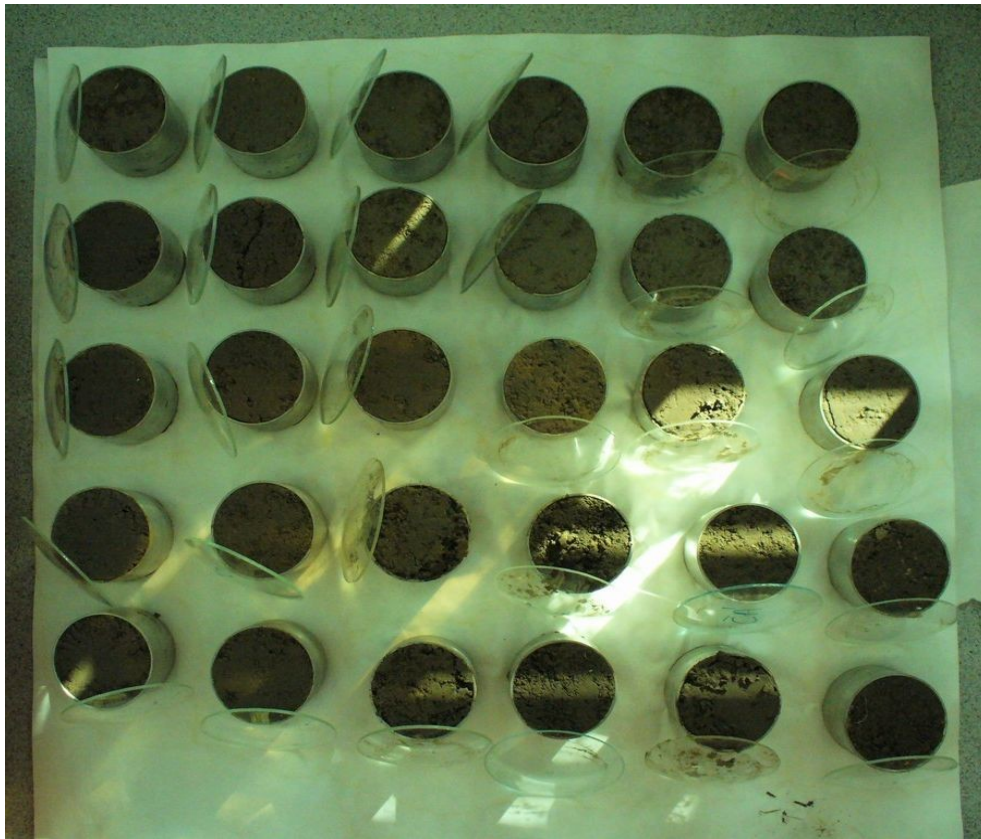
Obrázek 8: Kopeckého válečky



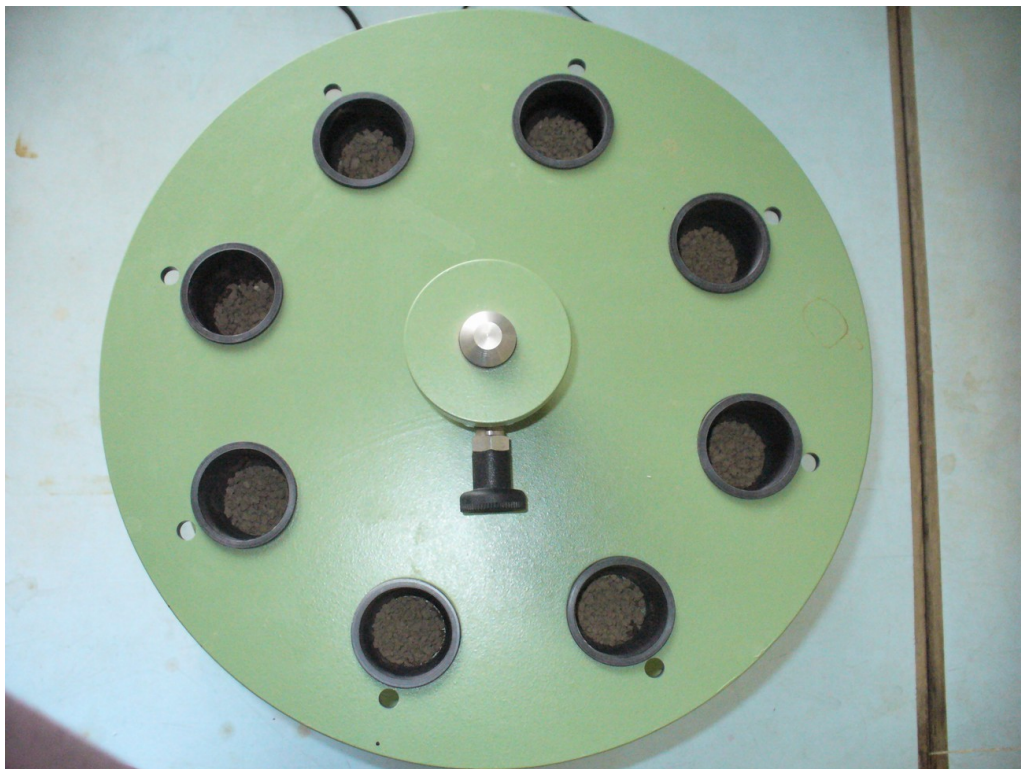
Obrázek 9: Měření infiltrace v červnu



Obrázek 10: Měření infiltrace po sklizni



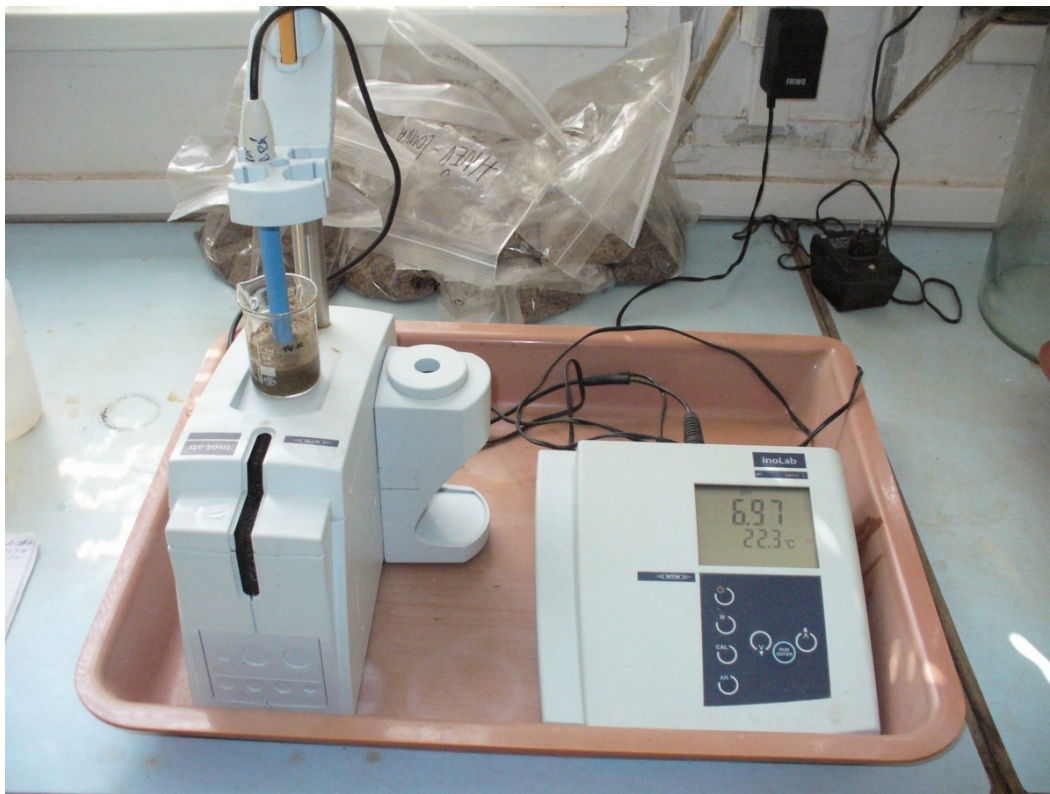
Obrázek 11: Kopeckého válečky na filtračním papíře



Obrázek 12: Agregáty na sítěch promývacího přístroje Wet sieving apparatus



Obrázek 13: Sada misek po vysušení



Obrázek 14: pH-metr